ANTÁRTIDA EDUCA



EMBAJADA
DE ESPAÑA
EN ARGENTINA

aecid
CENTRO
CULTURAL

CCEBA
Centro Cultural
de España
en Buenos Aires

EMBAJADA
DE ESPAÑA
EN ARGENTINA

CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN



(Dirección Nacional del Antártico)

antártidaeduca

Coeditan
CCEBA Centro Cultural de España en Buenos Aires / AECID
Consejería de Educación de la Embajada de España en Argentina
Dirección Nacional del Antártico-Instituto Antártico Argentino, Argentina
Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación, España

Coordinación y edición
Pedro Cortegoso, Consejería de Educación de la Embajada de España en Argentina
y Fernanda Rebull, Dirección Nacional del Antártico

Revisión pedagógica
Andrés Ajo Lázaro, Profesor de Biología y Geología, España
Blanca Mingo Zapatero, Profesora de Biología y Geología, España
Marta Stella Trepat, Profesora de Biología y Genética, Colegio Parque de España, Argentina

Diseño
Bernardo + Celis

Impresión
Gráfica Latina

Primera edición: julio de 2010
3000 ejemplares

En esta publicación se utiliza papel certificado Forest Stewardship Council (FSC)

NIPO 820-10-185-9

Publicación educativa para países de lengua española, realizada con ocasión del Año Polar Internacional 2007-2008.

ANTÁRTIDA EDUCA

AGRADECIMIENTOS

En esta obra hemos contado con el apoyo, siempre desinteresado y entusiasta, de muchas personas e instituciones dedicadas al cuidado de la Antártida y a la divulgación de su importancia.
Desde aquí queremos agradecer esta ayuda a Lidia Blanco, a Natalia López, a Fernanda Rebull, a Rodolfo del Valle, al Instituto Antártico Ecuatoriano, al Programa Antártico Peruano, a la Fundación Española de Ciencia y Tecnología, a la Secretaría del Tratado Antártico, a la Unidad de Tecnología Marina del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y a la Unidad de Coordinación de Educación Ambiental de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

INTRODUCCIÓN

El proyecto **Antártidaeduca**, y la idea de publicar este libro, nacieron en el año 2007, en coincidencia con el Año Polar Internacional 2007-2008, para contribuir a esta celebración realizando una publicación educativa sobre la Antártida.

Este libro tiene como principal destinatario a la comunidad educativa latinoamericana, en especial a los estudiantes y docentes de secundaria de los países de habla hispana.

Cuando nos reunimos para este proyecto, todas las instituciones participantes compartíamos, además de nuestra pasión y respeto por la Antártida, la necesidad de difundir su importancia y de hacerlo en español. Son muchos los países latinoamericanos que, desde hace tiempo y cada vez con más medios y resultados, trabajan allí con el objetivo de aumentar el conocimiento sobre ese continente, tan importante para el funcionamiento climático y medioambiental del planeta, y de mantenerlo como lugar reservado a la paz, la cooperación y la ciencia, como fue acordado por los países firmantes del Tratado Antártico en el año 1959.

Esta obra colectiva ha sido elaborada por científicos, gestores antárticos y expertos en educación de los países que forman el proyecto, que son Argentina, Ecuador, España y Perú, a través de las siguientes instituciones: la Dirección Nacional del Antártico de Argentina, el Instituto Antártico de Ecuador, el Programa Antártico Peruano, el Centro Cultural de España en Buenos Aires y la Consejería de Educación de la Embajada de España en Argentina.

Este trabajo compartido nos ha permitido aprender más sobre la Antártida y sobre la relevancia que este lugar tan lejano y desconocido tiene para muchos latinoamericanos, que dedican su tiempo y esfuerzo a estudiarlo y cuidarlo. Pretendemos transmitir de modo comprensible e interesante para los lectores una parte del conocimiento que la comunidad científica ha adquirido sobre esta región. Nuestra meta final es que los estudiantes, los docentes y, a través de ellos, el conjunto de la sociedad, conozcan la Antártida y la importancia de que este laboratorio natural se mantenga en sus actuales condiciones de conservación para que podamos seguir aprendiendo de ella.

Pedro Cortegoso
Secretario General de la Consejería de Educación de la Embajada de España en Argentina

Mariano Mémolli
Director Nacional del Antártico de Argentina

Ricardo Ramón Jarne
Director del Centro Cultural de España en Buenos Aires

MAPA DE LA ANTÁRTIDA

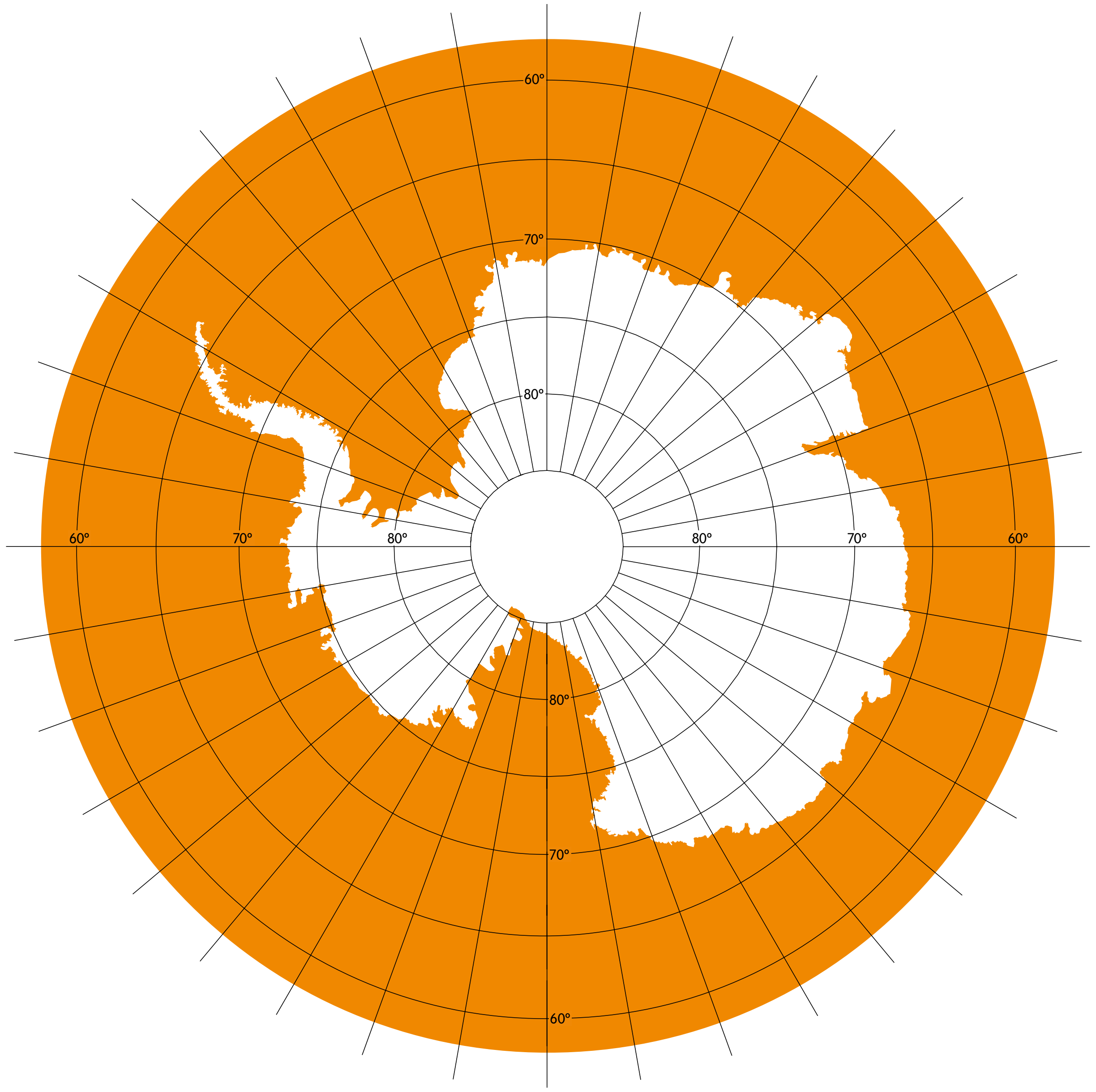
>

ÍNDICE

LA ANTÁRTIDA

1.1. ¿Qué es la Antártida?
1.2. La historia del descubrimiento y la exploración de la Antártida
1.3. ¿Cómo se vive en la Antártida?
1.4. Un acuerdo histórico: el Tratado Antártico
1.5. La protección ambiental de la Antártida

1



1.1 ¿QUÉ ES LA ANTÁRTIDA?

Hernán Moreano Andrade, máster en Ciencias en Oceanografía, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador
Mónica Riofrío Briceño, licenciada en Oceanografía, Instituto Antártico Ecuatoriano, Ecuador



Vista desde la boca de la bahía Esperanza. Al fondo, el glaciar Depot; a la derecha, el flanco sur del corredor del monte Taylor, y a la izquierda, el monte Flora (Dirección Nacional del Antártico)

La palabra Antártida proviene del idioma griego, de antarktikos, que significa 'opuesto al ártico'. A su vez, ártico proviene del vocablo griego arktikos, cuyo significado es 'de la osa', en referencia a la constelación boreal llamada Osa Menor, en la que se encuentra la Estrella Polar, que señala el polo Norte. Por tanto, antarktikos significa 'opuesto a la osa'; es decir, alude al polo Sur, que está ubicado en la Antártida.

La situación geográfica

La Antártida está situada al sur de la **convergencia antártica**, región comprendida aproximadamente entre los 55˚ y 58˚ de latitud sur, que rodea el continente antártico. La convergencia antártica puede definirse como la zona de contacto entre las aguas antárticas y las aguas menos frías y menos densas de la zona subantártica. Este límite constituye una importante frontera desde el punto de vista biológico y oceanográfico y tiene su equivalente en la atmósfera, donde un frente polar atmosférico separa masas de aire frías de la región antártica de otras más cálidas de la región subantártica.

La Antártida abarca los territorios al sur del paralelo 60º S, que es la región a la que se refiere el Tratado Antártico. Con excepción del norte de la península Antártica, prácticamente todo el continente antártico se encuentra al sur del círculo polar Antártico (66˚ 33´ S).

La Antártida, un continente helado

El continente antártico tiene una forma casi circular, de la que sobresale la península Antártica en dirección sur-norte. Tiene un diámetro de unos 4500 km y una superficie de alrededor de 14 millones de km^2; de esta, menos del 1 % se encuentra libre de hielo. Es el continente más frío, más seco, más ventoso y con mayor altura media (más de 2000 m sobre el nivel del mar) del planeta. Su tamaño es superior al de Australia y algo menor que el de América del Sur. Está separado de la última por el pasaje Drake o mar de Hoces, de casi 1000 km, mientras que la distancia a África y a Australia es de 3800 y 2500 km, respectivamente. Es un continente rodeado por océanos, a diferencia del Ártico, que es, en esencia, un océano rodeado por continentes.

Las montañas Transantárticas, una alineación elevada de unos 4000 km de longitud, dividen el continente en dos partes desiguales: la **Antártida occidental** y la **Antártida oriental**. Esta última está constituida, sobre todo, por rocas muy antiguas, en su mayoría de más de 550 millones de años, y recubierta por una capa de hielo que, en algunas zonas, llega a superar los 4500 m de espesor. No sucede lo mismo en la Antártida occidental, sector situado al sur de América del Sur que incluye la península Antártica, donde las rocas son más recientes, la cubierta de hielo es más delgada y, además, se encuentra la montaña más alta del continente, el monte Vinson (de 4897 m sobre el nivel del mar). En esta porción del continente, en las últimas décadas se manifiesta un aumento de temperatura y una pérdida de hielo más intensos que en la Antártida oriental.

En la Antártida existen algunos volcanes activos, como el de la isla Decepción, en el sector septentrional de la península Antártica, o el Erebus, de 3794 m de altura, en la isla Ross (Antártida oriental), que domina la barrera de hielo de Ross.

Se conocen más de 150 lagos ocultos bajo el hielo antártico, en algún caso a más de 3600 m bajo la superficie, como el lago Vostok, que con unos 14 000 km^2 de extensión tiene un tamaño similar al del lago Maracaibo (Venezuela).

En este continente se almacenan, en forma de hielo, más de las tres cuartas partes del agua dulce existente en la Tierra, ya que el espesor medio de la capa helada supera los 2000 m. Si todo este volumen de hielo cambiara al estado líquido, se produciría un incremento del nivel del mar del orden de 65 m, aunque este escenario no es probable en las escalas de tiempo habituales para los seres humanos.

Los días y las noches polares

La duración del día y la noche antárticos es consecuencia de la ubicación polar del continente y de la inclinación del eje terrestre. En el día del solsticio de verano (21 de diciembre, fecha en que comienza desde el punto de vista astronómico dicha estación en el hemisferio sur), en cualquier punto situado al sur del círculo polar Antártico, el día tiene 24 horas de luz; opuestamente, en el solsticio de invierno (21 de junio), tiene 24 horas de oscuridad. La situación extrema se presenta en el polo Sur geográfico, donde el sol permanece seis meses sin ocultarse en el horizonte y otros seis meses debajo de este. Durante la transición entre el invierno y el verano, cuando el sol ya se encuentra cerca del horizonte, el día transcurre con penumbras.

Una persona que estuviera en el polo Sur geográfico en verano, vería que el sol gira sobre su cabeza en forma de espiral ascendente hasta el mediodía y descendente más tarde, sin ocultarse nunca detrás del horizonte. Entre el círculo polar Antártico y el polo Sur geográfico, las variaciones en la duración del día y la noche son graduales, y la zona cuenta con veranos de días largos e inviernos de noches largas.



Témpano (Dirección Nacional del Antártico)

LA ANTÁRTIDA ES EL CONTINENTE MÁS FRÍO, MÁS SECO, MÁS VENTOSO Y CON MAYOR ALTURA MEDIA DEL PLANETA.



Amanecer sobre un témpano (Marcelo Gurruchaga)

	ANTÁRTIDA	ÁRTICO
	Abarca un continente rodeado por extensas áreas oceánicas.	Abarca un océano rodeado por continentes.
HIELO	Aproximadamente 2 km de grosor medio sobre el continente (con unos 14 millones de km² de superficie). El mar helado llega a superar en invierno el tamaño del continente.	Grueso recubrimiento de hielo sobre Groenlandia y predominio de mar helado sobre el océano Ártico.
LÍMITES NATURALES	Convergencia antártica (aproximadamente 60° S).	Isoterma de 10 °C del mes de julio, que se corresponde con el límite de la tundra (caracterizada por la ausencia de árboles).
TEMPERATURA MEDIA ANUAL	–51 °C	–18 °C
TEMPERATURA MÍNIMA REGISTRADA	–89 °C	–73 °C
FAUNA Y FLORA	No hay mamíferos terrestres. Hay solo dos especies de plantas vasculares.	Abundan los mamíferos terrestres. Hay numerosas especies de plantas vasculares.
POBLACIÓN Y ACTIVIDADES HUMANAS	No preexiste población nativa. Hay solo bases científicas. Se desarrollan, fundamentalmente, actividades científicas. Todas las actividades (logística, turismo…) están reguladas por el Sistema del Tratado Antártico.	Existen pueblos nativos. Hay ciudades y actividades económicas (pesca, minería, industria, turismo).

El clima



Buque de investigación oceanográfica *Hespérides*, España (Unidad Tecnología Marina - Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

La temperatura promedio de enero, el mes más cálido del verano, oscila entre 0,4 ºC, en la costa, y –40 ºC, en el interior del continente. Durante el invierno, el promedio se encuentra entre –23 ºC y –68 ºC. La temperatura mínima registrada ha sido de –89 ºC. En todo el continente, las escasas precipitaciones ocurren mayoritariamente en forma de nieve. El continente antártico es considerado en parte un desierto, a pesar de la enorme reserva de agua dulce que posee, porque las precipitaciones son escasas, y además, al estar el agua en forma de hielo o nieve, no se halla disponible para la flora y la fauna. Solo un pequeño porcentaje de las precipitaciones se producen en forma de lluvia, durante el verano austral y, principalmente, en las zonas costeras y en las islas aledañas.

Los fuertes vientos son característicos de la Antártida. Están condicionados por el anticiclón (o centro de alta presión) que suele desarrollarse en el interior del continente, desde donde se generan vientos que se dirigen en dirección norte y noreste, por el efecto de Coriolis, hasta la zona de ciclones (o centros de baja presión), ubicados en latitudes subpolares. Los temporales de nieve y viento son frecuentes, sin que existan tormentas eléctricas. El viento puede alcanzar los 200 km por hora, con ráfagas aún mayores. Son típicos de la región los llamados *vientos catabáticos*, que descienden hacia la costa desde el interior. Es común que se formen ventiscas o *blizzards*, que arrastran nieve, por lo que también se las conoce como *vientos blancos*.

LA ANTÁRTIDA ES UN CONTINENTE RODEADO POR OCÉANOS, A DIFERENCIA DEL ÁRTICO, QUE ES, EN ESENCIA, UN OCÉANO RODEADO POR CONTINENTES.

EN ESTE CONTINENTE SE ALMACENAN, EN FORMA DE HIELO, MÁS DE LAS TRES CUARTAS PARTES DEL AGUA DULCE EXISTENTE EN LA TIERRA, YA QUE EL ESPESOR MEDIO DE LA CAPA HELADA SUPERA LOS 2000 M.



Mar de Weddell congelado (Marcelo Gurruchaga)



Faro sobre roca en el mar, durante el verano austral (Dirección Nacional del Antártico)

1.2 LA HISTORIA DEL DESCUBRIMIENTO Y LA EXPLORACIÓN DE LA ANTÁRTIDA

Jerónimo López Martínez, doctor en Ciencias Geológicas, Universidad Autónoma de Madrid, España
Verónica del Valle, licenciada en Ciencias Antropológicas, Dirección Nacional del Antártico, Argentina



Puesta de sol de medianoche y el *Endurance* en el mar de Wedell, expedición de Shackleton (Frank Hurley, National Library of Australia)

Alrededor de 500 años antes de nuestra era, los griegos habían descubierto no solo que la Tierra era esférica, sino también que giraba alrededor de un eje imaginario, y llamaron polos a los puntos en que ese eje atravesaba la superficie del planeta. Fue así como supusieron la existencia de una gran masa continental ubicada al sur del continente africano que contrapesara las tierras del hemisferio norte, a la que denominaron Terra Australis Incognita. Varios siglos después, esta idea fue retomada por cartógrafos medievales, quienes la plasmaron en diversos mapamundis que sirvieron de guía e inspiración a una serie de expediciones a partir del siglo XVI, con las que se fue ampliando progresivamente la información sobre el continente más remoto y los mares más tempestuosos del mundo.

Las primeras expediciones en los mares australes

Al regreso de Colón a España, los Reyes Católicos, queriendo asegurarse la posesión de las tierras recién descubiertas, solicitaron que se las donara el Papa, considerado en ese entonces dueño temporal de todas las tierras pertenecientes a Dios. Así, en 1493 el Papa promulgó una bula por la cual los reyes de Castilla y León y sus herederos y sucesores eran poseedores de los siguientes territorios: «todas las islas y tierras firmes halladas, y que se hallaren descubiertas, y que se descubrieren hacia el Occidente, y mediodía, fabricando y componiendo una línea del Polo Ártico, que es el Septentrión, al Polo Antártico, que es el Mediodía...».[1]

El primer viaje de circunnavegación de la Tierra tuvo lugar entre 1519 y 1522, capitaneado por Hernando de **Magallanes** y, tras su muerte en abril de 1521, por Juan Sebastián **Elcano**. En esta ocasión Magallanes descubrió el paso entre el Atlántico y el Pacífico, y rompió la creencia generalizada de que existía un enlace entre el continente americano y la Terra Australis. Asimismo localizó el territorio que fue denominado *Tierra del Fuego*, a causa de las fogatas encendidas por los pobladores nativos. Si bien Magallanes era portugués, sus descubrimientos pertenecían a España por el Tratado de Tordesillas y por el patrocinio español de la expedición.

Otros viajes de navegantes españoles produjeron avances en el conocimiento y la exploración de los mares australes a lo largo del siglo XVI, como el de la flota al mando de García Yofré de Loayza, que en 1525 debió soportar un gran temporal en el estrecho de Magallanes. Una de sus carabelas, la *San Lesmes*, capitaneada por Francisco de Hoces, fue arrastrada hasta los 55° de latitud S, donde encontraron un amplio mar abierto al sur de Tierra del Fuego que más tarde sería denominado *pasaje de Drake* y que algunos documentos han recogido con el nombre de *mar de Hoces*.

Ya que la jurisdicción española en las tierras del Nuevo Mundo alcanzaba hasta el mismo polo Sur, en 1534 Carlos V creó la provincia del Estrecho. En 1540 le encomendaron a Francisco Alonso de Camargo la exploración de esos territorios y fue una de sus carabelas la que descubrió la isla de los Estados, aunque no llegaron a reconocer su insularidad. Un año antes le habían encargado a Pedro Sancho de Hoz navegar por el mar del Sur. Demostraban su convencimiento sobre la existencia de tierras australes no descubiertas aún al decir: «hasta el dicho Estrecho de Magallanes y la tierra que está de la otra parte dél» .[2] También Juan Ladrillero, en 1557, tratando de encontrar la entrada occidental del estrecho de Magallanes, llegó más al sur de Tierra del Fuego. En 1579-1580 y 1581-1587 Pedro Sarmiento de Gamboa realizó importantes reconocimientos y levantamientos hidrográficos en la zona del estrecho de Magallanes.

Muy probablemente los primeros europeos que divisaron tierras antárticas fueron los españoles que en 1603 navegaron hasta alrededor de los 64º de latitud S en el buque *Buena Nueva*, al mando del capitán Gabriel de Castilla. El ánimo exploratorio los llevó a dirigirse hacia el sur desde el cabo de Hornos y, a la vuelta de aquel viaje, relataron que habían visto montañas con nieve, aunque no habían llegado a desembarcar. Una latitud similar no sería alcanzada hasta 168 años más tarde, avanzado el siglo XVIII, en los viajes del navegante inglés James **Cook**. Este representante de la corona inglesa circunnavegó la Antártida y fue el primero en cruzar el círculo polar Antártico, en enero de 1773. Alcanzó los 71º de latitud S, pero no llegó a ver el continente.

Otra importante expedición fue la capitaneada entre 1618 y 1619 por los hermanos Bartolomé y Gonzalo García de Nodal, al mando de los buques *Nuestra Señora de Atocha* y *Nuestra Señora del Buen Suceso*, quienes circunnavegaron Tierra del Fuego y en febrero de 1619 hallaron las islas Diego Ramírez, las más australes de América. En 1756 el capitán español Gregorio Jerez descubrió las islas San Pedro (luego llamadas *Georgias del Sur* por Cook). En 1762 el buque español *Aurora* halló unas islas entre las San Pedro y las Malvinas, a las que más adelante James Wedell bautizaría *Shag Raks* y *Black Rocks*. En 1794 el capitán José de Bustamante, de la expedición científica de Alejandro Malaspina y al mando del *Atrevida*, localizó nuevamente las islas del Aurora y realizó un estudio hidrográfico del área.

[1] Capdevila, R., y S. Comerci: *Historia antártica argentina*, Argentina: Dirección Nacional del Antártico, 1986, p. 17.
[2] O. cit., p. 18.
[3] O. cit., p. 25.



El *Endurance* en la oscuridad del invierno antártico, atrapado en el mar de Wedell, expedición de Shackleton (Frank Hurley, National Library of Australia)

Las primeras aproximaciones a la Antártida

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, la caza de ballenas y, sobre todo, de focas, se intensificó con el descubrimiento de las islas San Pedro y Aurora. Los **foqueros** eran atraídos por el aceite que se obtenía de estos animales, muy apreciado por su uso en la iluminación de la época.

En 1818 se le otorgó permiso formal al comerciante Juan Pedro Aguirre, que lo gestionó ante el Consulado de Buenos Aires con las siguientes palabras: «se le permita el establecimiento de la pesca de lobos marinos en alguna de las islas que en la altura del polo Sur de este continente se hallan inhabitadas...». [3] Las islas mencionadas en el documento no eran otras que las Shetland del Sur. También puede citarse la actividad del buque *San Juan Nepomuceno*, del Río de la Plata, que entre 1817 y 1820 desarrolló sus actividades foqueras en las islas cercanas al polo Sur.

Es probable que la búsqueda de nuevas zonas de caza de focas haya conducido a otros navíos hacia la Antártida. Sin embargo, sus descubrimientos parecen haber quedado sin registro por el interés de sus protagonistas en mantener el secreto, ante la dura competencia que existía entre los diversos barcos y compañías que operaban en ese negocio en los mares australes.

Entre otras travesías del principios del siglo XIX que es necesario destacar está la campaña del almirante Guillermo Brown, que en 1815 con bandera del Río de la Plata, inició un viaje de corso contra posesiones españolas en el Pacífico. Tras alcanzar los 65º de latitud, mencionó la presencia de signos indicativos de la cercanía de tierra firme.



Científico en moto de nieve arrastrando trineo para transportar material científico (Dirección Nacional del Antártico)



Desembarco (Unidad de Tecnología Marina - Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

ALREDEDOR DE 500 AÑOS ANTES DE NUESTRA ERA, LOS GRIEGOS HABÍAN DESCUBIERTO NO SOLO QUE LA TIERRA ERA ESFÉRICA, SINO TAMBIÉN QUE GIRABA ALREDEDOR DE UN EJE IMAGINARIO Y LLAMARON POLOS A LOS PUNTOS EN QUE ESE EJE ATRAVESABA LA SUPERFICIE DEL PLANETA.

En 1819 el emperador Alejandro I, de Rusia, le encomendó al capitán Fabián Tadeo Bellingshausen que intentara llegar más al sur de lo alcanzado por James Cook. Así, con sus dos buques, el *Mirny* y el *Vostok*, alcanzó la ruta antártica en 1820, realizó un relevamiento de las Shethlands del Sur y las islas San Pedro (Georgias del Sur), y logró la segunda circunnavegación del Antártico.

En los años siguientes a 1820 los foqueros desarrollaron una intensa actividad en la zona antártica. Algunos de los capitanes y tripulantes de estos barcos hicieron importantes aportaciones al descubrimiento geográfico, también realizaron mediciones, y sus nombres han quedado ligados a la toponimia antártica. Entre los muchos que actuaron en esa época, cabe mencionar a Eduardo Bransfield, que cartografió varias de las islas Shetland del Sur; a George Powell y Nataniel Palmer, que descubrieron las Orcadas del Sur; al capitán James Weddell, que fue el primero en adentrarse en el hoy denominado *mar de Weddell*, donde llegó a alcanzar los 74º 15' S; a Henry Foster, quien en 1828-1829 fijó la posición de varias islas de las Shetland del Sur e instaló un termómetro de máximas y mínimas en la isla Decepción.

Otro caso es el del buque *San Telmo*, que en 1819 enfrentó una tormenta en el cabo de Hornos y fue arrastrado hacia el sureste. Luego algunos foqueros que frecuentaron las islas Shetlands dejaron registrado el hallazgo de restos de dicho naufragio.

En 1819 el capitán británico William Smith, mientras intentaba evadir una tormenta cerca de Tierra del Fuego, se desvió hacia el sur y avistó unas islas cubiertas de nieve. En un segundo viaje ese mismo año, con la intención de confirmar su avistamiento anterior, llegó nuevamente a mares antárticos y denominó a estas islas *Nueva Bretaña del Sur*, más tarde rebautizadas *Nuevas Shetlands del Sur*.



La expedición de Amundsen en el polo Sur, 14 de diciembre de 1911 (Olav Bjaaland, National Library of Australia)

Otras expediciones exploratorias y científicas en el siglo XIX y principios del XX

Finalizado el primer tercio del siglo XIX, se llevaron a cabo varias expediciones apoyadas por diversos países, que resultaron importantes por sus descubrimientos. Incluyeron dibujantes y científicos, que aportaron información con sus observaciones, muestreos y mediciones.

Entre estos expedicionarios están: el francés Jules Sébastien César Dumont D´Urville, que en 1838-1841 realizó investigaciones sobre el magnetismo de los polos; el teniente norteamericano Charles Wilkes, que en 1839-1843 navegó por el mar de Bellingshausen y alcanzó los 70˚ S; el inglés James Ross, que en 1839-1843, con sus barcos *Erebus* y *Terror*, llegó a la latitud de 78˚ S, la máxima navegada en esa época; el alemán Eduard Dallmann, que en 1873-1874 realizó la cartografía de varias zonas antárticas; el noruego Carl Anton Larsen, que en 1893-1894 exploró la región oriental de la península Antártica, donde halló fósiles que probaban la vida vegetal en tiempos remotos y descubrió la barrera de hielo que lleva su nombre.

A finales del siglo XIX, cuando ya había sido explorada la mayor parte del planeta, las zonas polares, en particular la Antártida, continuaban siendo las regiones más desconocidas, y las sociedades científicas promovían su exploración. Entre 1897 y 1899 tuvo lugar la expedición belga dirigida por el ingeniero y teniente Adrien de Gerlache que, a bordo del buque *Bélgica*, partió hacia la región occidental de la península Antártica. Entre los miembros de su expedición figuraban el geólogo y geofísico, Emile Danco; el médico Frederick Cook; el geólogo y meteorólogo Henryk Arctowski; el naturalista Emile Racovitza y un joven noruego llamado Roald Amundsen, quien luego protagonizaría su propia aventura. El *Bélgica* quedó varado aproximadamente un año cerca de los 71˚ de latitud S, por causa de los hielos, y constituyó la primera invernada científica en la Antártida.

En 1898 la expedición alemana del profesor Karl Chun, a bordo del *Valdivia*, llegó hasta los 56˚ de latitud S para realizar observaciones oceanográficas y geográficas. Cerca de la tierra de Enderby registraron la máxima profundidad oceánica, de 4647 m. Entre 1898 y 1900 la campaña del explorador Carsten Egeberg Borchgrevink, financiada por los ingleses, desembarcó en la barrera de hielo de Ross y la cruzó por primera vez.

Con el comienzo del siglo XX, se efectuaron las más importantes y famosas expediciones a zonas antárticas.

El profesor Erich von Drygalski estuvo al frente de la expedición alemana de 1901-1903 y, con su buque *Gauss*, permaneció prisionero de los hielos durante más de un año. Utilizando un globo de hidrógeno para ascender a más de 400 m, tomó fotografías desde el aire. La expedición científica escocesa de 1903-1904 al mando del científico William S. Bruce también quedó atrapada con su buque, el *Scotia*, en la bahía que luego llevaría su nombre, y debió invernar en la isla Laurie. El científico francés Jean B. Charcot realizó dos viajes a la Antártida, el primero entre 1903 y 1905, a bordo del *Francais*. Su expedición, que también debió pasar el invierno en tierras antárticas, aportó datos sobre la geología y oceanografía de la zona. Su segundo viaje fue de 1908 a 1910, a bordo del *Pourquoi-pas*?

En 1904 se estableció en la base argentina de Orcadas la primera estación meteorológica en territorio antártico. Esta es la base antártica que por más tiempo ha permanecido ocupada y en funcionamiento de forma ininterrumpida. Junto a ella el gobierno argentino instaló la primera oficina de correos en ese continente.

A principios del siglo XX comenzaron también los intentos para alcanzar el polo Sur, con las expediciones del británico Robert Falcon **Scott** y del explorador noruego Roald **Amundsen**. Este último contaba con las ventajas de su experiencia previa en esas tierras y su decisión de llevar perros como bestias de tiro, en lugar de los ponis elegidos por Scott. Amundsen llegó al polo Sur el 14 de diciembre de 1911 y emprendió el regreso. Scott, junto a su grupo de 4 hombres, llegó el 17 de enero de 1912, pero fallecieron todos durante el regreso, por falta de alimentos.

Entre 1914 y 1916 se desarrolló la expedición dirigida por el británico sir Ernest **Shackleton**. Cuando su buque *Endurance* quedó aprisionado por el hielo del mar de Weddell, parte de la tripulación logró llegar hasta las islas San Pedro, donde unos balleneros los auxiliaron. Al no poder regresar para rescatar a sus compañeros, debido al hielo que impedía la navegación, debieron volver al continente americano. Más tarde, con la ayuda del gobierno de Chile, retornaron y lograron rescatar a los sobrevivientes.

En las décadas de los veinte y los treinta del siglo XX, la aviación también dejó su huella en la historia antártica. El almirante norteamericano Richard Byrd sobrevoló el polo Sur en 1928. Su compatriota Lincoln Ellsworth cruzó en avión la Antártida desde el mar de Weddell hasta el mar de Ross en 1935 y 1939.

LA EXPEDICIÓN CIENTÍFICA SUECA

Organizada por el doctor Otto Nordenskjöld, partió de Buenos Aires el 21 de diciembre de 1901 en el buque Antarctic, comandada por el capitán Carl Larsen. También viajaba un joven argentino: José María Sobral, a quien Nordenskjöld había invitado en agradecimiento al gobierno argentino por el apoyo moral y material que este le había brindado a su expedición. Luego de dejar al grupo de invernantes en una cabaña construida en la isla Cerro Nevado, el Antarctic se alejó para volver a recogerlos en un tiempo estipulado. Cuando se disponía a regresar, no pudo hacer frente al hielo en el mar de Weddell, y tres navegantes debieron desembarcar para ir a buscar con trineos a sus compañeros a la isla, cuya bahía, desde ese momento, pasó a llamarse Esperanza. Al mismo tiempo, el Antarctic intentaba llegar por el lado este. Al entrar al mar de Weddell, fue aprisionado por los hielos y terminó por hundirse. Los náufragos, con lo que pudieron salvar, se dirigieron a la isla Paulet en botes rescatados del barco y allí construyeron una choza de piedras donde pasar el invierno. Lo mismo hicieron los tres que habían quedado a su suerte en la bahía Esperanza, que tuvieron que cazar focas y pingüinos para sobrevivir. El tiempo transcurrió y el equipo de Nordenskjöld se aprestó a pasar una segunda invernada, no prevista. Al no tener noticias de la expedición, los medios científicos internacionales comenzaron a preocuparse. La Argentina dispuso inmediatamente el envío de un buque de rescate, y al no contar con un barco preparado para las zonas polares, se acondicionó la cañonera Uruguay para la difícil tarea. En octubre de 1903 zarpó de Buenos Aires al mando del teniente de navío Julián Irízar. Por su parte, los hombres de la bahía Esperanza lograron encontrarse con Nordenskjöld, y ambos grupos fueron rescatados por la Uruguay, que había llegado tras vencer grandes dificultades en el mar de Weddell. Mientras regresaban al continente americano, recogieron a los náufragos de la isla Paulet, y así culminó de manera exitosa este episodio único de la historia antártica, que tuvo gran resonancia internacional.

El desarrollo de la investigación científica y de la cooperación internacional

Tras la segunda guerra mundial, hubo una serie de factores trascendentales para el futuro de la Antártida. Por un lado, los avances de la ciencia y de la tecnología (medios de transporte, comunicaciones, etc.) permitieron desarrollar las investigaciones en las duras condiciones antárticas, y por otro, la decisión internacional de colaborar hizo posible que la Antártida no se convirtiera en escenario de conflictos.

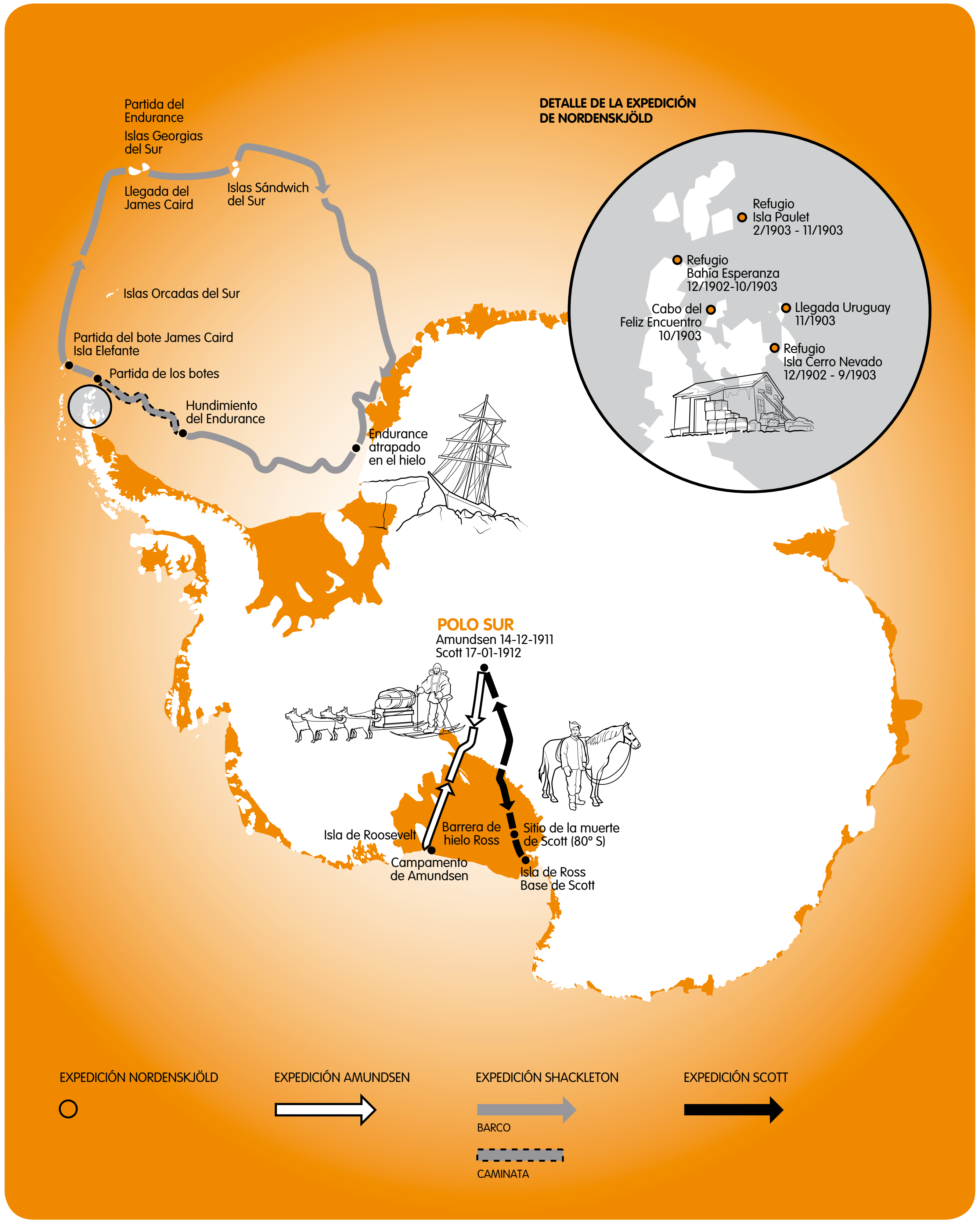
La celebración en 1957-1958 del Año Geofísico Internacional, considerado el Tercer Año Polar Internacional, se focalizó fundamentalmente en la Antártida: doce naciones actuaron de modo coordinado, se hicieron importantes descubrimientos científicos y se instalaron una serie de estaciones sobre el terreno. Así, en 1958, se estableció el Comité Científico para la Investigación Antártica (SCAR, sigla de Scientific Committee on Antarctic Research), con el objetivo de promover y coordinar la investigación científica, y al año siguiente se firmó el Tratado Antártico, con el fin de decidir de forma colectiva sobre el futuro del territorio situado más allá del paralelo 60º S.

Gracias a esos acuerdos, hoy la Antártida es un territorio gestionado multinacionalmente, dedicado a la paz y a la ciencia, y en el que la conservación ambiental tiene un lugar prioritario.



Arponero (Norwegian Polar Institute)

RECORRIDO DE EXPEDICIONES ANTÁRTICAS DESTACADAS



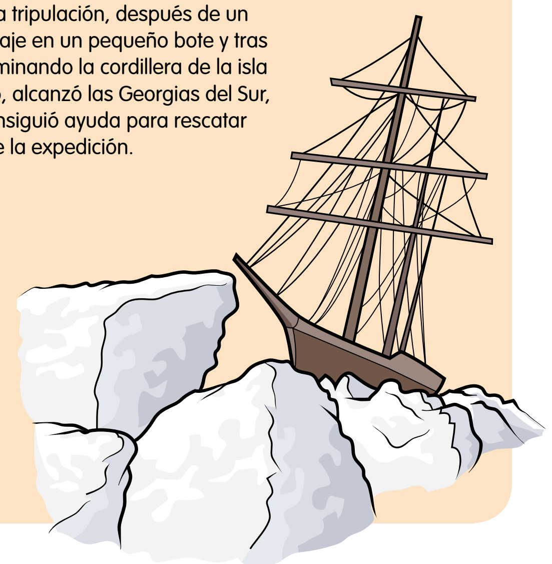
EXPEDICIÓN DE NORDENSKJÖLD 1901-1903

Destaca por sus logros de carácter científico, como el descubrimiento de restos fósiles de animales.
Varios de sus miembros tuvieron que invernar dos años en Cerro Nevado, en una casa prefabricada traída desde Suecia, que todavía se conserva en su estado original y funciona como museo. El Antarctic se hundió cuando iba a rescatarlos, por lo que sus tripulantes tuvieron que guarecerse en bahía Esperanza y en la isla Paulet, donde construyeron refugios con materiales del lugar y restos del naufragio.



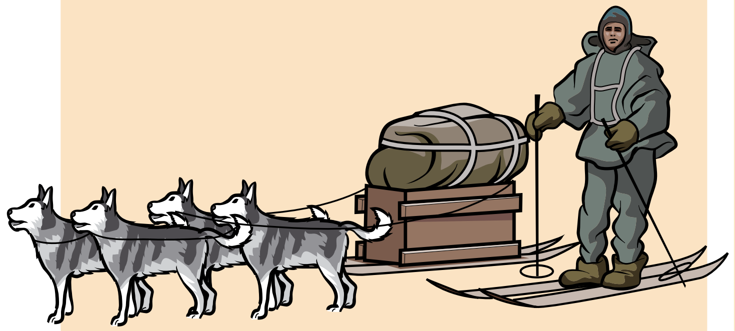
EXPEDICIÓN DE SHACKLETON 1914-1916

Su buque, el Endurance, quedó atrapado en el hielo y finalmente fue destrozado por la presión de los bloques de hielo que lo aprisionaban.
Parte de la tripulación, después de un extenso viaje en un pequeño bote y tras cruzar caminando la cordillera de la isla San Pedro, alcanzó las Georgias del Sur, donde consiguió ayuda para rescatar al resto de la expedición.



EXPEDICIÓN DE AMUNDSEN 1911-1912

Cinco hombres alcanzaron el polo Sur el 14 de diciembre de 1911 y estuvieron de regreso en su base de la bahía de las Ballenas el 25 de enero de 1912, después de recorrer 2824 km en 94 días.
La experiencia previa de Amundsen, la buena planificación del viaje y un equipamiento adecuado, junto a la utilización exclusiva de perros groenlandeses para el transporte, fueron las claves de su éxito.



EXPEDICIÓN DE SCOTT 1911-1912

Llegaron al polo Sur el 17 de enero de 1912, un mes después de Amundsen. Los cinco miembros de la expedición fallecieron en el viaje de regreso, por agotamiento y falta de víveres.
Además de perros, también utilizó caballos mongoles para el transporte del material, pero todos murieron durante el viaje, por lo que los expedicionarios tuvieron que cargar con el equipo.



1.3 ¿CÓMO SE VIVE EN LA ANTÁRTIDA?

Andrea Concheyro, doctora en Ciencias Geológicas, Dirección Nacional del Antártico, Argentina
Juan Manuel Lirio, licenciado en Ciencias Geológicas, Dirección Nacional del Antártico, Argentina
Hernán Sala, licenciado en Ciencias Biológicas, Dirección Nacional del Antártico, Argentina



Base Esperanza, Argentina. A la derecha, el monte Flora (Dirección Nacional del Antártico)

La Antártida es el último continente alcanzado por los seres humanos y, a diferencia del Ártico, carece de habitantes autóctonos. Su población se renueva periódicamente y se concentra, sobre todo, en las bases. Está integrada por científicos y técnicos que realizan tareas de investigación y por personal que desarrolla labores logísticas, y es mucho más numerosa en verano, época en la que tienen lugar la mayoría de las campañas científicas.

Cada día vivido en la Antártida resulta un desafío, debido a las condiciones propias de un medio tan inhóspito. Además del trabajo específico de cada uno, todos deben cumplir tareas comunitarias que contribuyen a la supervivencia y bienestar del grupo, como colaborar en la limpieza, la obtención de agua, el tratamiento de residuos, etcétera.

La alimentación

El clima frío obliga a aumentar al doble la ingesta de calorías (3500 diarias), especialmente si se realizan trabajos a la intemperie. En cada base la dieta está determinada por las costumbres del país de origen y por los alimentos disponibles. En general, es abundante y variada, aunque escasa en alimentos frescos (frutas y verduras).

La alimentación en bases permanentes y en buques es bastante similar y depende de la habilidad del cocinero para conjugar las calorías necesarias, el buen sabor y la variación en los distintos platos.

En los campamentos, la vida al aire libre exige una ingesta calórica todavía mayor. Suele consistir en un desayuno fuerte antes de salir a trabajar, alimentos ligeros y bebida caliente en el terreno, y una cena abundante al regresar. La lista de los alimentos disponibles incluye: carnes blancas y rojas, legumbres, verduras enlatadas y frescas, como patatas, cebollas, etcétera. También se dispone de lácteos y fiambres. Para cocinar se cuenta con combustible líquido o gaseoso, y cocina portátil. Para conservar los alimentos se dejan en el exterior, aunque a resguardo de las aves. Conseguir agua puede obligar a fundir hielo o nieve, pero en ciertas zonas y en verano es posible obtenerla en estado líquido en pequeñas corrientes o lagunas.



Cabaña de Nordenskjöld en Cerro Nevado, 1902 (Dirección Nacional del Antártico)



Refugio antártico (Unidad Tecnología Marina - Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

Las viviendas: las bases y los refugios

Las rigurosas características climáticas de la Antártida obligan a las personas a residir en ambientes especialmente protegidos, que suelen ser bases o refugios.

Las **bases permanentes** son aquellas que se encuentran habitadas y operativas durante todo el año, aunque en invierno solo permanece una dotación mínima que se ocupa de su mantenimiento y del registro de datos. Un caso particular es el de las bases Esperanza, de Argentina, y Frey, de Chile, donde habitan familias completas.

Las **bases temporales** están activas únicamente los meses de verano.

Los **refugios** son alojamientos de dimensiones y comodidades reducidas, que se utilizan para apoyar los trabajos de campo en zonas de interés alejadas de las bases. Hay refugios dispersos en diversos lugares del territorio antártico, a los que proveen de alimentos, combustible y prendas de abrigo las bases próximas. No existe un tipo estándar de refugio, los más antiguos eran fijos y de madera, los actuales pueden ser contenedores acondicionados de forma especial o estructuras de fibra de vidrio, más fáciles de transportar. Uno de los refugios más antiguos y famosos de la Antártida es una pequeña casa prefabricada de madera denominada *Museo Casa Suecia*, ubicada en la isla Cerro Nevado (Snow Hill), que fue construida y utilizada por la expedición científica sueca de Nordenskjöld durante las invernadas de los años 1902 y 1903.

LA ANTÁRTIDA ES EL ÚLTIMO CONTINENTE EN HABER SIDO ALCANZADO POR LOS SERES HUMANOS Y, A DIFERENCIA DEL ÁRTICO, CARECE DE HABITANTES AUTÓCTONOS.



Científico trabajando en un laboratorio (Unidad Tecnología Marina - Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

VESTIMENTA EN LA ANTÁRTIDA

A. GAFAS DE SOL

Gafas de sol con filtro para la radiación ultravioleta (rayos UV) son indispensables para prevenir las lesiones producidas por el reflejo de los rayos del sol en la nieve. Además, las gafas de protección resguardan los ojos y la cara de las partículas (nieve, cristales de hielo, arenilla, etc.) que vuelan durante las fuertes tormentas.

B. CALZADO

Son de uso frecuente las botas con suela de goma y abrigo interior. En caso de caminar sobre hielo, se utilizan botas rígidas especiales a las que se ajustan armazones metálicos con puntas, denominados crampones, para evitar resbalar.

C. GUANTES

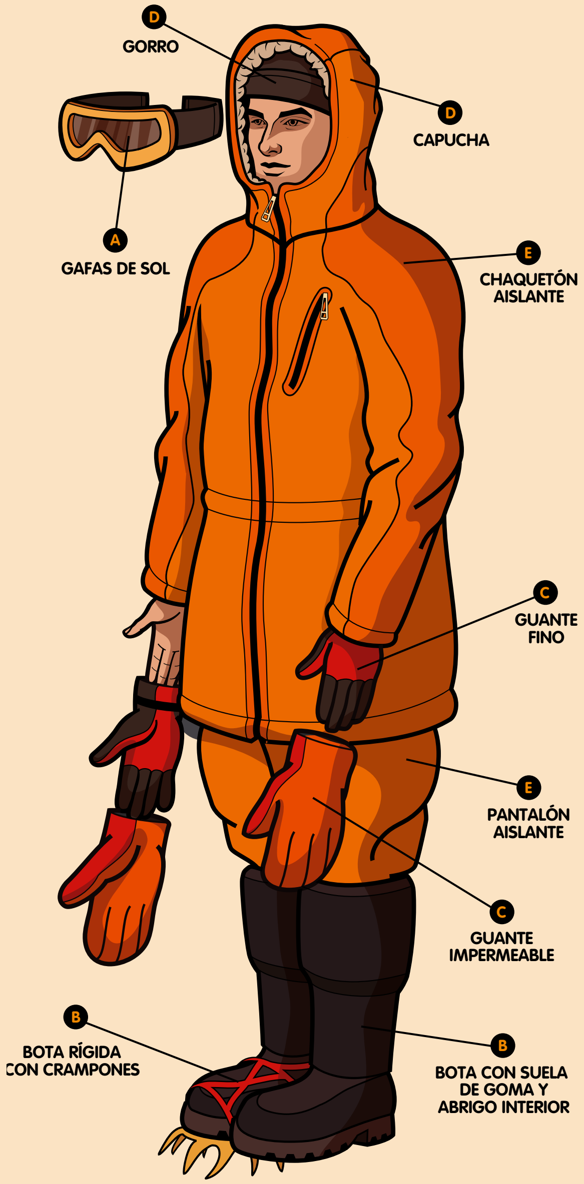
Resultan imprescindibles; es muy común usar guantes finos y, por encima, otra cubierta más gruesa e impermeable.

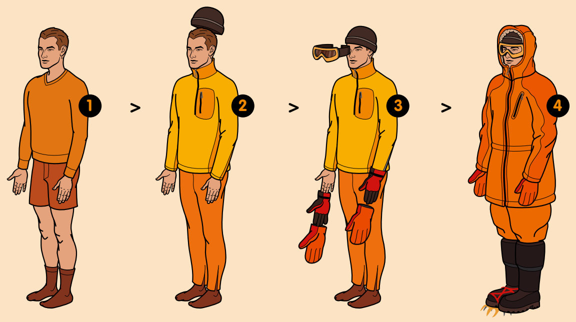
D. GORRO Y CAPUCHA

Una de las partes del cuerpo más sensibles al frío y, además, por donde se pierde gran cantidad de calor, es la cabeza. Por eso se debe usar gorro y capucha.

E. CHAQUETÓN Y PANTALÓN

Cubren las varias capas de abrigo. Resguardan del viento, nieve o agua, pues una prenda mojada pierde su capacidad aislante.

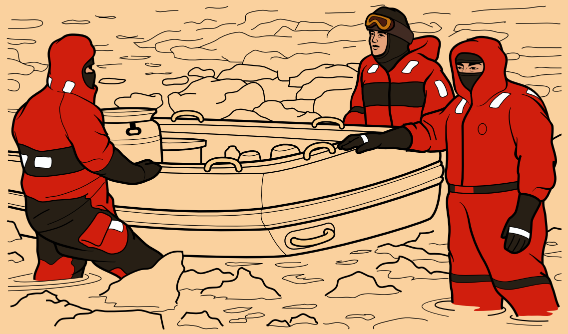




CAPAS DE ABRIGO
El vestuario se adapta según el grado de exposición al frío. Se utilizan varias capas de abrigo, que se agregan o quitan de acuerdo con las condiciones meteorológicas.



EN EL INTERIOR
Dentro de las bases, refugios y campamentos, las condiciones de trabajo son más cómodas y la vestimenta es más ligera.



EN EMBARCACIONES
Se utiliza vestimenta especial que no permite el paso del agua. Cuenta con una gruesa cubierta, en ocasiones de neopreno, que aísla del frío; cintas reflectoras; silbato; y gancho de seguridad para poder extraer a la persona del agua en caso de necesidad.

La logística y los medios de transporte

El éxito de una expedición antártica depende en gran medida de su logística, que abarca facetas como transporte, comunicaciones y seguridad del personal. Es necesario planificar las tareas por realizar y disponer de información sobre los sitios de trabajo, sus riesgos y condiciones ambientales. Se trata de una logística muy especializada, que requiere personal muy bien formado y que supone un coste elevado.



Rompehielos *Irízar* (Marcelo Gurruchaga)

Las conexiones por radio y satelitales desde la Antártida ya forman parte de las actividades de rutina. La llegada de Internet y de la telefonía móvil y satelital han facilitado y agilizado aún más las comunicaciones con la Antártida. Además de contribuir a la seguridad, hoy es común la transmisión en tiempo real de datos obtenidos in situ por instrumentos, estaciones automáticas o cámaras web.

A la Antártida se puede llegar en avión o en buque, normalmente de gran porte y que concentran el transporte de carga y personal. El viaje en buque implica navegar por los océanos más fríos y peligrosos del planeta. La presencia de témpanos obliga a las embarcaciones a contar con un casco reforzado. Los rompehielos pueden trasladarse a través del mar congelado con relativa facilidad y tienen, además, radares que detectan los témpanos y reciben pronósticos meteorológicos actualizados de las bases.

La actividad logística se incrementa mucho durante el verano, cuando los buques llegan a las bases para renovar su personal y reabastecerlas con alimentos, combustible y equipos, y trasladar a los científicos que desarrollarán sus proyectos de investigación.

El estricto cumplimiento de las normas de seguridad permite prevenir los accidentes y, aunque lamentablemente han ocurrido, el espíritu de cooperación que existe entre los distintos países que trabajan en Antártida ha permitido salvar muchas vidas.

Las vías de acceso y el turismo

Para ahorrar tiempo y dinero, los países más australes ubican sus centros logísticos lo más cerca posible de la Antártida, por ejemplo, Argentina en Ushuaia, Australia en Hobart, Chile en Punta Arenas, Nueva Zelanda en Christchurch o Sudáfrica en Ciudad del Cabo.

Mediante el uso de aeronaves, es posible viajar desde estos puntos de acceso hasta las escasas pistas de aterrizaje que existen en la Antártida. Para reducir costes, otros países del hemisferio norte y el turismo en general utilizan también las mencionadas vías de acceso.

La mayor parte del turismo antártico se realiza en barcos grandes, con numerosas comodidades, y proviene de los países más desarrollados. Los sitios más visitados se encuentran en el norte de la península Antártica, en parte por sus paisajes y diversidad de fauna y, también, por su cercanía a América del Sur. La isla Decepción, por sus excepcionales valores históricos y naturales, es uno de los lugares más frecuentados. En cuanto al turismo de aventura, es común la presencia de pequeños aviones y barcos, que trasladan a personas para realizar travesías con esquís o ascensiones a montañas. El significativo aumento del turismo en los últimos años está generando la necesidad de seguir desarrollando la normativa que lo regula, con el objeto de asegurar la preservación del ambiente y velar por la seguridad de los visitantes.

La energía

El combustible de origen fósil es la principal fuente de energía en las bases, aunque en muchas de ellas, así como en estaciones de medida, se utilizan paneles solares y generadores eólicos. Es un importante desafío desarrollar el uso de nuevas fuentes de energía que sean más limpias y eficientes. Tal exigencia es máxima en la Antártida, ya que se trata de conservar el medio ambiente de la manera más impoluta posible y, al mismo tiempo, de suplir las demandas de energía que plantea un medio tan distante y frío.

A LA ANTÁRTIDA SE PUEDE LLEGAR EN AVIÓN O EN BUQUE, NORMALMENTE DE GRAN PORTE Y QUE CONCENTRAN EL TRANSPORTE DE CARGA Y PERSONAL. EL VIAJE EN BUQUE IMPLICA NAVEGAR POR LOS OCÉANOS MÁS FRÍOS Y PELIGROSOS DEL PLANETA.



Proa del rompehielos *Irízar* (Marcelo Gurruchaga)



Avión de transporte (Dirección Nacional del Antártico)

1.4 UN ACUERDO HISTÓRICO: EL TRATADO ANTÁRTICO

Pedro Cortegoso, licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales, Consejería de Educación de la Embajada de España en Argentina, España
Mariano Mémolli, doctor en Medicina, Dirección Nacional del Antártico, Argentina



Aldea antártica - Sin fronteras, instalación efímera en la Antártida (Lucy + Jorge Orta)

La Antártida es uno de los lugares más inhóspitos e inaccesibles del mundo y, sin embargo, son muchos los países con presencia allí. ¿Por qué interesa tanto la Antártida?

A PESAR DE LOS CONFLICTOS Y LAS TENSIONES MUNDIALES DE LOS CINCUENTA ÚLTIMOS AÑOS, LA ANTÁRTIDA SE HA MANTENIDO COMO ZONA DE PAZ, COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y TERRITORIO PROTEGIDO.

EL ESPAÑOL ES UNA DE LAS CUATRO LENGUAS OFICIALES DEL TRATADO, JUNTO CON EL INGLÉS, EL FRANCÉS Y EL RUSO.

El Tratado Antártico

El *Tratado Antártico* (TA) fue firmado por los 12 países que habían participado en el Año Geofísico Internacional (AGI) de 1957-1958. La experiencia del AGI demostró que era posible establecer bases en la Antártida y desarrollar la cooperación científica sin entrar en conflictos. Desde entonces, 36 países más se han adherido, y son hoy 48 en total los que reconocen el Tratado. En el anexo A.1 se puede consultar la relación de países integrados en el TA.

El Tratado se firmó el 1 de diciembre de 1959 en Washington (Estados Unidos), entró en vigor el 23 de junio de 1961 y se convirtió desde ese momento en una referencia de los avances que se pueden lograr mediante la cooperación internacional.

El Tratado afecta a los territorios, incluso a las barreras de hielo y al océano, ubicados al sur de los 60° de latitud S y establece que «la Antártida se utilizará exclusivamente para fines pacíficos» (artículo I), que «la libertad de investigación científica en la Antártida y la cooperación [...] continuarán» (artículo II), que «las Partes Contratantes acuerdan proceder [...] al intercambio de observaciones y de resultados científicos sobre la Antártida, los cuales estarán disponibles libremente» (artículo III) y que «todas las regiones de la Antártida, y todas las estaciones, instalaciones y equipos que allí se encuentren [...] estarán abiertos en todo momento a la inspección» (artículo VII).

La importancia del Tratado se aprecia en que, a pesar de los conflictos y las tensiones mundiales de los cincuenta últimos años, la Antártida se ha mantenido como zona de paz, cooperación científica y territorio protegido.

El TA y los diferentes acuerdos, protocolos y organizaciones que lo han ido desarrollando conforman lo que se conoce como *Sistema del Tratado Antártico*. Incluye diversos acuerdos de carácter internacional sobre temática antártica, como la Convención para la Conservación de las Focas Antárticas (Londres, 1972), que entró en vigor en el año 1980, y la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (Canberra, 1980), que está vigente desde 1982. El Protocolo sobre Protección del Medio Ambiente (Protocolo de Madrid), aprobado en 1991, es el texto normativo más importante aparte del TA y se comenta más detalladamente en el apartado 1.5. A pesar de que las ballenas habitan en aguas antárticas, no se aborda en estos acuerdos su problemática específica, sino en la Convención Internacional para la Reglamentación de la Caza de la Ballena, que precedió al TA.

Además de estas normas acordadas por los países firmantes del Tratado, los otros elementos del Sistema del Tratado Antártico son los diversos órganos que gestionan las actividades que se realizan en la Antártida.

Una vez al año se realiza una Reunión Consultiva del Tratado Antártico, con la participación de los países firmantes del TA y de las organizaciones que forman parte del sistema, que se centra en el intercambio de información y consultas, así como en la elaboración de propuestas para la aplicación del tratado.

Foros antárticos

El **Comité Científico para la Investigación Antártica** (SCAR, sigla de Scientific Committee on Antarctic Research) fue creado en 1958. Se trata de una organización no gubernamental, constituida por científicos y cuyos objetivos son promover y coordinar la investigación científica que se desarrolla en la Antártida. Además, es el órgano asesor del TA en materia científica.

El **Consejo de Administradores de Programas Antárticos Nacionales** (COMNAP, sigla de Council of Managers of National Antarctic Programs) se ocupa de coordinar el apoyo logístico necesario para las actividades científicas en la Antártida.

En el ámbito latinoamericano existe una organización que se ocupa de los temas indicados para el COMNAP, en lo que afecta a los países de esa región. Se trata de la Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos (RAPAL), en la que participan Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Perú, Uruguay y Venezuela.

La Coalición para el Océano Austral y la Antártida (ASOC, sigla de Antarctic and Southern Ocean Coalition) está formada por diversos grupos cuyo objetivo es la protección ambiental. Esta organización interviene en las reuniones del Tratado con estatus de observador.

Por último, cabe mencionar a la Asociación Internacional de Operadores Turísticos Antárticos (IAATO, sigla de International Association of Antarctica Tour Operators). Fue creada en 1991 por varios operadores turísticos con el objetivo de promover actividades turísticas responsables y participar en el Sistema del Tratado Antártico. También asiste a las reuniones consultivas del Tratado como observador.

La información sobre el funcionamiento del Sistema del Tratado Antártico y sobre sus diversos órganos puede consultarse en la página web de la Secretaría del TA, que se encuentra en Buenos Aires, Argentina: <www.ats.aq>. Los textos se encuentran en español, que es una de las cuatro lenguas oficiales del tratado, junto con el inglés, el francés y el ruso.

1.5 LA PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LA ANTÁRTIDA

Patricia Gagliuffi, ingeniera civil, Programa Antártico Peruano, Perú
Patricia Verónica Ortúzar, licenciada en Geografía, Dirección Nacional del Antártico, Argentina
Johan Veerman, licenciado en Física, Programa Antártico Peruano, Perú



Pingüinos adelia saltando entre bandejones de hielo marino (Dirección Nacional del Antártico)

Desde finales de los años sesenta y comienzos de los setenta, se generó en el mundo una creciente preocupación por proteger el medio ambiente de los efectos de las actividades humanas. Esta realidad no fue ajena a la Antártida, por lo que los países que ya entonces formaban parte del TA fueron acordando gradualmente regulaciones para las actividades desarrolladas en el continente blanco.

El Protocolo de Madrid

Hoy en día podemos hablar de un proceso normativo que tuvo su momento cumbre en el año 1991 cuando se firmó el Protocolo del TA sobre Protección del Medio Ambiente, conocido también como Protocolo de Madrid y vigente desde el año 1998.

El Protocolo de Madrid es la principal herramienta internacional para la protección del medio ambiente antártico y declara a la Antártida reserva natural dedicada a la paz y a la investigación científica. Contiene una serie de principios y procedimientos que deben aplicarse a todas las actividades que se desarrollen en el continente. Asimismo se creó el Comité para la Protección del Medio Ambiente, encargado de revisar permanentemente los temas ambientales y asesorar a las reuniones consultivas del tratado sobre la implementación de medidas ambientales complementarias.

Entre los principales aspectos abarcados por el Protocolo de Madrid, están la protección de la flora y la fauna, el tratamiento de los residuos, la gestión de las zonas protegidas y la prevención de los impactos ambientales.

La flora y la fauna antárticas, bien protegidas

Con el objeto de proteger la vida autóctona de la Antártida, está prohibido matar, herir, manipular y molestar a los animales o dañar la vegetación. Los peces se encuentran en el ámbito de una regulación particular, la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA). Solo los científicos pueden acceder a un sistema de permisos que ha establecido el TA. Así, por ejemplo, los biólogos autorizados estudian las colonias de pingüinos, en las que evalúan, entre otras cosas, el éxito reproductivo o la dieta de estos animales. El hecho de que otras personas no puedan interactuar de manera directa con la fauna permite a los científicos trabajar en un ambiente casi prístino, poco modificado por el hombre, situación infrecuente en el resto del mundo.

Otro aspecto importante de la protección de la fauna y la flora locales es la prohibición para introducir **especies no autóctonas.** Históricamente, se llevaron al continente diversos animales e, incluso, plantas. Un caso muy reconocido fue el de los perros, utilizados durante décadas para tirar de trineos. Con el tiempo, diversos estudios comenzaron a señalar que la presencia de animales provenientes de otras latitudes podría tener consecuencias negativas para la flora y la fauna locales. Entre los problemas detectados se encuentran el posible desplazamiento de las especies locales debido a la ocupación de sus hábitats por parte de especies invasoras que no cuenten allí con depredadores y la transmisión de enfermedades no presentes en la fauna antártica. Asimismo algunas especies foráneas podrían constituirse en depredadoras de las locales. Fue por eso por lo que, desde la entrada en vigor del Protocolo de Madrid, quedó prohibida la introducción intencional no controlada de especies no autóctonas, a la vez que las aún presentes debían ser retiradas, como los perros. Esto supone, por ejemplo, impedir la entrada de pequeños roedores o insectos en la carga de buques o aviones. La preocupación actual radica en que, debido al calentamiento climático, especies que actualmente no prosperarían en la Antártida podrían hacerlo bajo futuras condiciones de temperatura más alta y afectar a las especies locales.

Otras cuestiones vinculadas a la protección de la fauna también han sido abordadas en los últimos años. Un ejemplo es la adecuada utilización de aeronaves cerca de concentraciones de aves y mamíferos, para lo que se formuló una serie de recomendaciones, que incluyen alturas y distancias mínimas de separación entre los vehículos y las colonias de animales.

¿Qué se hace con la basura?

La principal premisa es la minimización de los residuos a partir de una adecuada planificación de las actividades. A menor cantidad de residuos generados, menor posibilidad de producir contaminación.

Sin embargo, la gestión no se detiene aquí. Un estricto sistema de clasificación de residuos rige también en todas las estaciones científicas, campamentos o buques que trabajan en la Antártida. Si bien puede haber algunas pequeñas diferencias entre países, en líneas generales los residuos se separan en restos orgánicos, plásticos, metales, cemento, vidrios, residuos peligrosos o tóxicos y aguas residuales.

Otra de las claves de la gestión de los residuos radica en que la gran mayoría debe ser retirada de la Antártida por sus propios generadores. Solo los residuos orgánicos y las aguas de baños y cocinas pueden tratarse en el continente mediante la utilización de equipos especiales. El resto de los residuos se almacenan bajo estrictas condiciones, por lo general en contenedores aislados del sustrato, hasta que son desalojados de la Antártida, principalmente por barco. Esto ha sido un paso fundamental a la hora de evitar la contaminación de los mares y los suelos antárticos. Se aplican, además, restricciones mayores para el almacenamiento y transporte de los residuos peligrosos o tóxicos. Debe tenerse en cuenta que en la Antártida la energía para iluminación, calefacción y uso de vehículos y embarcaciones se genera, sobre todo, a partir de combustibles de origen fósil. Por ello, las mayores cantidades de residuos tóxicos provienen de estos así como de aceites minerales. Los laboratorios científicos también producen una amplia gama de residuos de sustancias químicas, aunque en general en pequeñas cantidades.

Hasta la entrada en vigencia del Protocolo de Madrid en 1998, muchos residuos se arrojaban al mar, se quemaban a cielo abierto o se enterraban en el sustrato, lo que constituía una fuente de contaminación. Se requiere, entonces, un considerable esfuerzo logístico y económico que permita clasificar, almacenar y transportar los residuos a varios miles de kilómetros de distancia de su lugar de generación.

Otra manera de prevenir la contaminación, pero en este caso de los buques que navegan en aguas antárticas, es aplicar toda la normativa internacional relacionada a la prohibición de eliminación de basuras y líquidos contaminados desde las embarcaciones. Con esto no solo se busca limitar la posible contaminación de los mares, sino también proteger la fauna. En este sentido, se debe tener en cuenta la incidencia de la pesca ilegal sobre las focas o lobos marinos que quedan atrapados en redes.

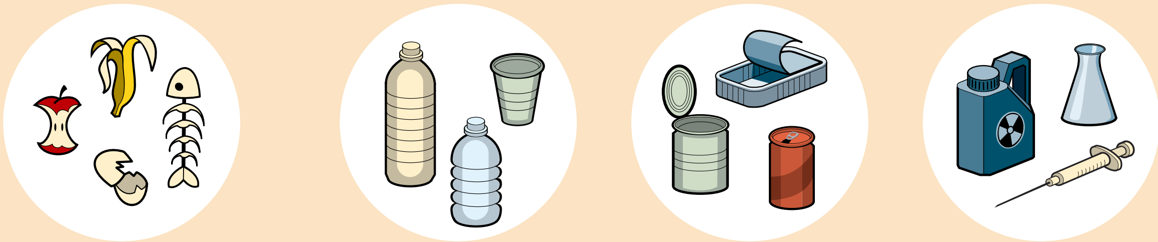
EL PROTOCOLO DE MADRID ES LA PRINCIPAL HERRAMIENTA PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE ANTÁRTICO Y DECLARA A LA ANTÁRTIDA RESERVA NATURAL DEDICADA A LA PAZ Y A LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.



Gestión de residuos (Dirección Nacional del Antártico)

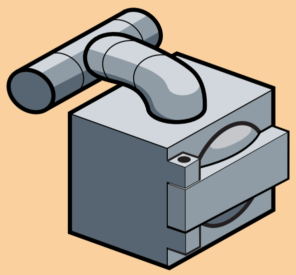
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

1 Desde el momento que se produce un material desechable, se procede a su clasificación a fin de darle el tratamiento adecuado en cada caso.

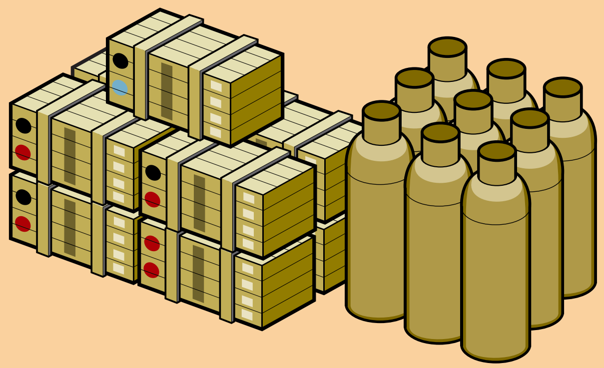


ORGÁNICOS — PLÁSTICOS — METALES — PELIGROSOS

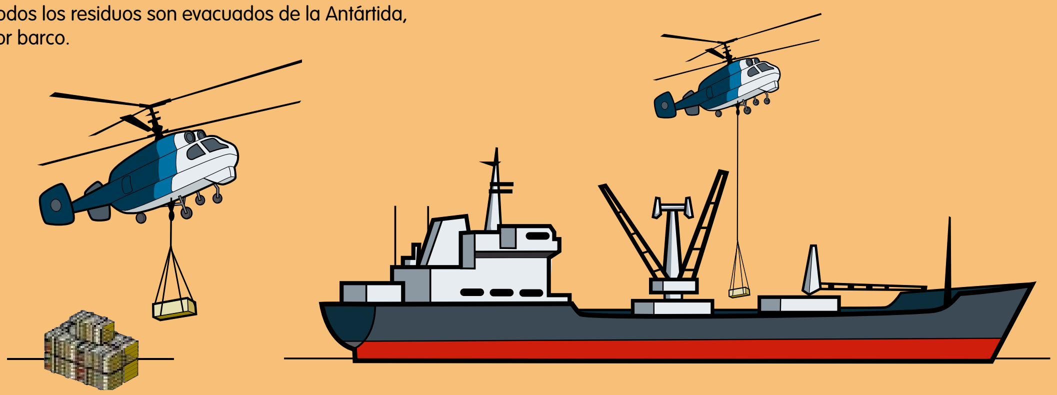
2 Los residuos orgánicos se queman en un incinerador de doble fase a fin de reducir el volumen y evitar la putrefacción y la contaminación atmosférica.



2 Mediante una prensa hidráulica, los envases metálicos se aplastan y los vidrios se rompen a fin de reducir su volumen. Luego se almacenan para poder ser evacuados.



3 Finalmente, todos los residuos son evacuados de la Antártida, sobre todo por barco.





Crucero turístico (Dirección Nacional del Antártico)

La protección de los sitios más valiosos

Otra de las medidas de protección implementadas en la Antártida es el establecimiento de Zonas Antárticas Especialmente Protegidas (ZAEP) y Zonas Antárticas Especialmente Administradas (ZAEA). Si bien todo el continente es una gran reserva natural protegida, el tratado estimó necesario que determinadas áreas recibieran mayor protección. Para ello se crearon las **ZAEP**, sectores terrestres o marinos con valores naturales o científicos excepcionales, en los que se encuentra restringido el acceso humano. Solo los científicos o quienes deben realizar tareas de control o mantenimiento pueden acceder a esta especie de pequeñas reservas naturales. Los primeros pueden trabajar con la fauna, la flora o allí donde hay especiales valores geológicos, sin la interferencia de otras actividades humanas, como el turismo o las operaciones logísticas. Bajo este estatus de protección, se encuentran grandes colonias de pingüinos, sectores de reproducción de otras especies o sectores con coberturas de vegetación excepcionales, así como yacimientos de fósiles, debido a su alto valor científico.

Las **ZAEA** son otra categoría para la gestión de zonas creada por el Protocolo de Madrid. El objeto de estas es el ordenamiento de diferentes actividades que confluyen en un mismo espacio. Un ejemplo de zona designada como ZAEA es la isla Decepción. Toda la isla es un volcán activo, situado en el archipiélago de las islas Shetland del Sur. Una de sus características es que su caldera se encuentra inundada por el mar, por lo que constituye un puerto natural. Como volcán activo, ya de por sí es de interés para la ciencia, pero lo es también por su ubicación y por su vegetación endémica asociada al calor que emite el volcán al sustrato. Como consecuencia de todos los atractivos de la isla y por su accesibilidad, es el sitio más visitado de toda la Antártida. Por los motivos mencionados, se acordó que la totalidad de la isla se constituyera en una ZAEA. Esto significa que se ha establecido un plan de gestión que ordena las actividades logísticas y turísticas, de manera tal que no se vea interferida la labor científica y que no se perturben los valores naturales e históricos del lugar.

En la Antártida los sitios históricos más valiosos han sido incluidos oficialmente por el Protocolo de Madrid en la categoría de **Sitios y Monumentos Históricos.** Esta designación conlleva que no pueden ser dañados ni retirados, y se preserva así el patrimonio histórico antártico. En su mayoría, estos sitios evocan algún acontecimiento de la época de las expediciones antárticas de los siglos XIX y principios del XX (como es el caso de las cabañas de los exploradores pioneros o de la vieja factoría ballenera de isla Decepción), o eventos relacionados con la firma del tratado y la cooperación entre países.

La prevención de los impactos ambientales

Para contribuir a que se causen las menores consecuencias negativas posibles al medio ambiente, el Protocolo de Madrid establece la obligación de que toda actividad que se lleva a cabo en la Antártida debe estar sujeta a una evaluación de impacto ambiental, previa a su inicio. Esto comprende las actividades científicas, las logísticas (por ejemplo, la construcción de una estación científica) y las turísticas, entre otras. Quienes realizan estas evaluaciones son las autoridades nacionales de cada país miembro del tratado, y es necesaria la aprobación internacional por parte del Comité de Protección Ambiental antes de la actuación, en el caso de que tenga cierta importancia. El objeto de estos estudios no es únicamente determinar cuáles serán las consecuencias que una actividad tendrá en el ambiente, sino también plantear modificaciones o programas de seguimiento posterior, para cada actividad. Por ejemplo, ante la propuesta de construcción de un nuevo laboratorio en una base antártica, se evalúan las alternativas para su ubicación de acuerdo con la cobertura vegetal o la cercanía a la fauna. Asimismo se estudian las diferentes opciones de materiales y técnicas de construcción para elegir las menos contaminantes o se toma la decisión de construirlo en determinado mes del año para no interferir con la época de reproducción de las especies de aves que anidan en las cercanías.

Es previsible que en el futuro se desarrollen una mayor regulación de las actividades turísticas, de gran crecimiento en los últimos años, un mayor control por parte de la CCRVMA de la pesca ilegal y medidas más efectivas para minimizar la introducción en la Antártida de especies no autóctonas.

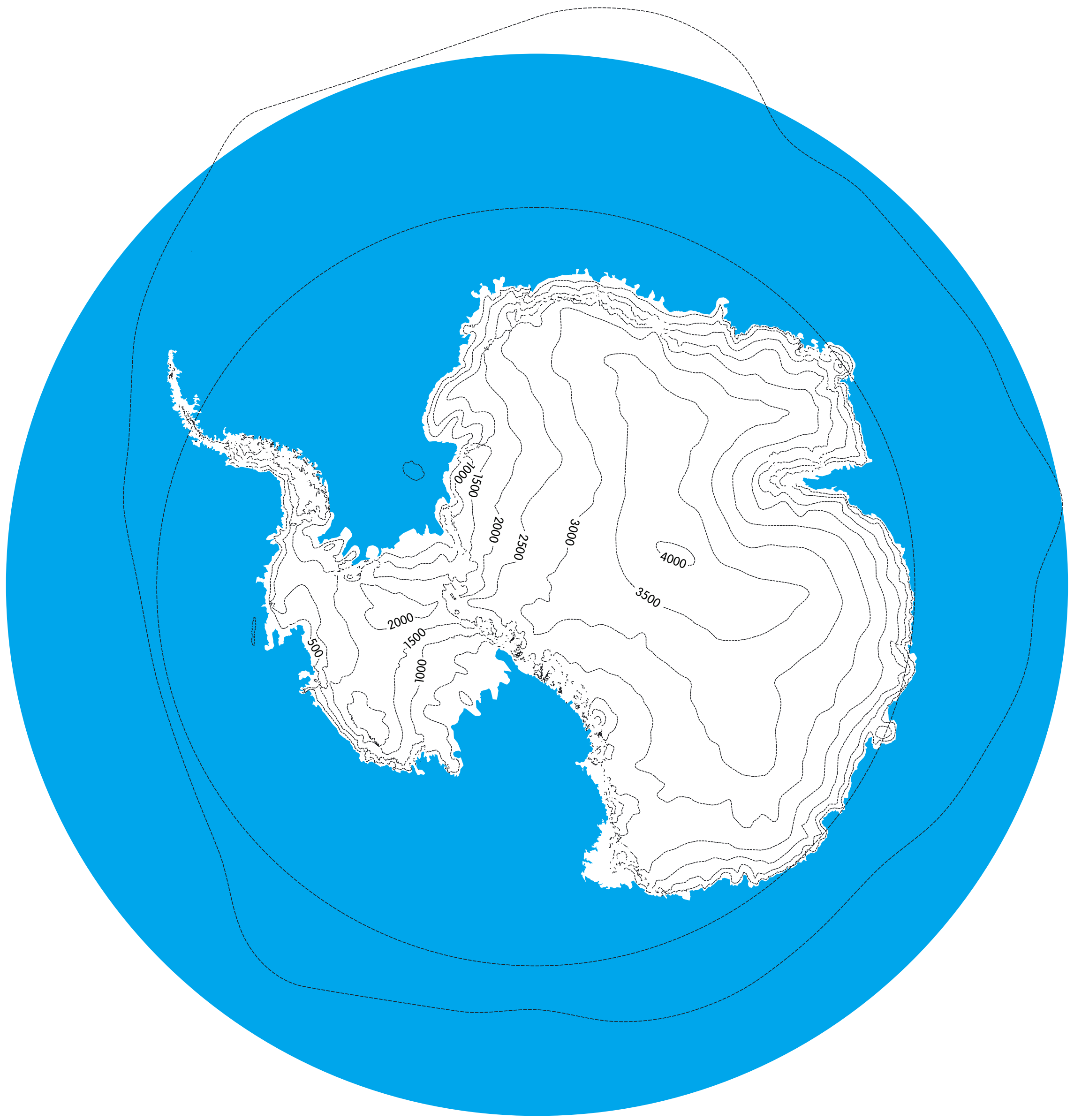


Generador eólico en la base australiana Mawson (Peter Bower, Australian Antartic Division)

2

EL MEDIO NATURAL

2.1. La historia geológica de la Antártida
2.2. Los registros paleoambientales
2.3. La circulación atmosférica, el agujero de ozono y la actividad solar
2.4. El hielo y los glaciares
2.5. La circulación oceánica y el mar helado
2.6. Los ambientes subglaciares: lagos y ríos bajo el hielo
2.7. La vida en la Antártida
2.8. La Antártida ante el calentamiento global



2.1 LA HISTORIA GEOLÓGICA DE LA ANTÁRTIDA

Jerónimo López Martínez, doctor en Ciencias Geológicas, Universidad Autónoma de Madrid, España

VARIACIÓN DE LA POSICIÓN GEOGRÁFICA DE LA ANTÁRTIDA ENTRE 170 Y 20 MILLONES DE AÑOS ANTES DE LA ACTUALIDAD



170 MILLONES DE AÑOS ANTES DEL PRESENTE — 90 MILLONES DE AÑOS ANTES DEL PRESENTE — 20 MILLONES DE AÑOS ANTES DEL PRESENTE

El planeta Tierra tiene unos 4550 millones de años de antigüedad. Para entender la magnitud de esta cifra y del tiempo transcurrido desde su origen, supongamos que comprimimos todo ese tiempo en un año imaginario e intentemos situar algunos acontecimientos ocurridos en el pasado. De este modo, podríamos decir que los primeros seres vivos aparecieron en el mes de mayo; las plantas y los animales terrestres no llegaron hasta finales de noviembre; los dinosaurios, que en realidad se extinguieron hace 65 millones de años, fueron dominantes hacia mediados de diciembre, y los homínidos no estuvieron en la Tierra hasta la tarde del 31 de diciembre. Menos de dos minutos antes de terminar nuestro año imaginario, se situaría el último máximo glaciar, ocurrido hace unos 20 000 años.

LA ANTÁRTIDA CONTIENE REGISTROS DE SUMA IMPORTANCIA, NO SOLO PARA RECONSTRUIR COMO FUERON LOS ACONTECIMIENTOS LOCALES, SINO PARA COMPRENDER LA HISTORIA DEL PLANETA.

La Tierra es un planeta dinámico, que experimenta cambios constantemente. En ocasiones estos son perceptibles por los seres humanos, pero en muchos casos no lo son, y lo que apreciamos son sus consecuencias, o bien tenemos que deducirlas a través de los registros que se han conservado. Las rocas son los documentos en los que los geólogos encuentran los datos que permiten reconstruir los acontecimientos del pasado, incluso de tiempos muy anteriores a los de la presencia de nuestra especie en la Tierra.

A través de esas observaciones hoy sabemos que los continentes y los océanos no han estado siempre ubicados en su posición actual, sino que se han movido en el pasado y se siguen moviendo en la actualidad. Por ejemplo, hace unos 180 millones de años, América estaba unida a Eurasia y a África, no existía el océano Atlántico, y los continentes del hemisferio sur mencionados, junto con la Antártida, India y Australia, formaban parte de una gran masa continental a la que se ha denominado *Gondwana*.

La fracturación del supercontinente de Gondwana

La Antártida ocupaba una posición clave en el supercontinente de Gondwana. Por ello, su estudio nos ayuda a comprender muchos de los eventos relacionados con la fragmentación de Gondwana, como son la formación de cordilleras, del océano Atlántico y de los mares antárticos, entre otros. Estos grandes cambios vienen afectando desde el Mesozoico la geografía, el ambiente y la evolución de las formas de vida en la Tierra, así como los procesos geológicos responsables de la formación de yacimientos minerales y la generación de depósitos petrolíferos.

Las rocas más antiguas del continente antártico se localizan en la Antártida oriental. Algunas de ellas, como las del complejo Napier, que tienen una edad de entre 3800 y 4100 millones de años, están entre las más antiguas del planeta. Su antigüedad, su rigidez y su estabilidad geológica permiten asignarles el término de *escudo*, sobre el cual se apoya la mayor parte del casquete de hielo antártico.

La Antártida occidental es el resultado de la unión de bloques continentales menores, relativamente jóvenes. La geología de la península Antártica recuerda mucho al extremo austral de América del Sur, con una cadena montañosa al oeste y amplias plataformas continentales en el mar de Weddell. Esta similitud geológica obedece a la prolongación de la cordillera de los Andes. La península Antártica presenta un considerable grado de actividad geológica, como lo demuestra la presencia de volcanes y terremotos.

Hoy la Antártida supone aproximadamente el 10 % de los territorios emergidos en la Tierra, está recubierta casi por completo de hielo y se sitúa en torno al polo Sur terrestre. Sin embargo, durante el Cretácico la Antártida estaba ubicada en latitudes subtropicales, unida a América del Sur y a Australia, y poseía un clima cálido sin glaciares. Los restos fósiles de edad cretácica hallados en la Antártida se corresponden con especies animales y vegetales de clima cálido. Entre ellos destacan dinosaurios y reptiles marinos hallados en el noroeste de la península Antártica.

La placa Antártica es una de las grandes placas litosféricas en que se subdivide la parte rígida cercana a la superficie del planeta. Esta placa tectónica comprende la totalidad del continente antártico y el entorno circundante constituido por corteza oceánica. La deriva hacia el sur de la placa Antártica, como consecuencia de la fragmentación de Gondwana, condujo a que el polo Sur quedase dentro del continente antártico, pero a pesar de ello, se cree que hace unos 40 millones de años el continente seguía sin tener glaciares.

De una Antártida sin hielo a un continente helado

Se cree que la Antártida comenzó a albergar el primer casquete de hielo hace unos 34 millones de años, algo después de iniciarse un enfriamiento en el que tuvo que ver la posición de los continentes. Mientras América del Sur y Australia estaban muy próximos a la Antártida, no podía establecerse una corriente oceánica que la rodease, como ocurre hoy en día. Fue necesario que progresase la deriva continental hasta que la separación entre Tierra del Fuego (sur de Argentina y de Chile) y la península Antártica permitiese el enlace de los océanos Atlántico y Pacífico, y por otro lado, que también fuese posible el paso de las corrientes marinas entre Australia y la Antártida oriental.

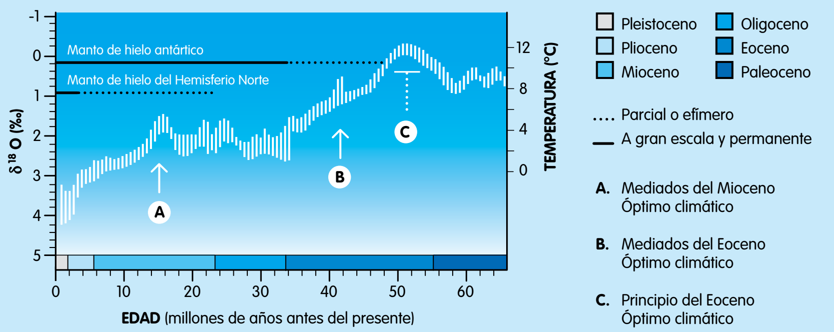
La formación de esos corredores oceánicos, generados gracias a la tectónica de placas, permitió el establecimiento de la corriente circumpolar antártica, lo que condujo a un mayor enfriamiento tanto de las aguas que rodean el continente como del propio continente antártico. Por otra parte, se incrementó la precipitación nival y la formación de hielo sobre el continente. La generación de una extensa superficie de color blanco aumentó la capacidad de reflejar los rayos solares hacia el espacio exterior, lo cual enfrió la temperatura en el planeta. Es decir que el actual cinturón de circulación oceánica que supone la corriente termohalina pudo establecerse como consecuencia de la tectónica de placas en los márgenes de la Antártida. Ese sistema global de circulación oceánica fue desde aquel momento, como lo es hoy en día, de gran importancia para el clima del conjunto del planeta.

Entonces, unos 34 millones de años atrás, cuando se formaba el primer casquete glaciar sobre la Antártida, tuvo lugar un enfriamiento en un tiempo en que la temperatura era probablemente unos 4 a 5 ºC más cálida que la actual. Hace unos 14 millones de años, cuando la temperatura era unos 2 a 3 ºC más cálida que la de hoy, ya existía un recubrimiento generalizado de hielo producido por el casquete antártico. Pero es obvio que esta masa de hielo, al igual que el clima, no ha sido estable, ha sufrido fluctuaciones a lo largo del tiempo. Unos 5 millones de años atrás hubo periodos en que se produjeron retrocesos del hielo. Luego vino la alternancia de etapas frías o glaciares con otras relativamente cálidas o interglaciares, característica del periodo Cuaternario. Estos ciclos glaciares e interglaciares fueron causados por la variación en la insolación que recibe la Tierra, producto de las variaciones en su órbita. En la actualidad la Antártida se encuentra casi totalmente recubierta de glaciares y, sobre todo en invierno, existe una amplia extensión de hielo marino alrededor del continente.

En definitiva, en la Antártida se han sucedido algunos periodos con más y otros con menos extensión glaciar que la actual. Para intentar responder a las preguntas sobre posibles escenarios futuros, sobre la velocidad de los procesos, sus causas y posibles consecuencias, es necesario conocer cuándo y de qué modo se han producido los cambios en el pasado remoto. Para ello hay que recurrir al estudio de las rocas, accediendo a los pocos y limitados afloramientos rocosos existentes en la Antártida y, sobre todo, realizando sondeos, tanto en el continente como en los sedimentos marinos de sus márgenes, los cuales proporcionan valiosa información. El propio hielo es otra fuente relevante de obtención de datos sobre las condiciones ambientales en los últimos centenares de milenios de la historia terrestre.

Esto significa que la Antártida contiene registros de suma importancia, no solo para reconstruir cómo fueron los acontecimientos locales, sino para comprender la historia del planeta.

VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA A LO LARGO DE LOS ÚLTIMOS 65 MILLONES DE AÑOS (CENOZOICO), CON INDICACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DEL MANTO DE HIELO ANTÁRTICO



2.2 LOS REGISTROS PALEOAMBIENTALES

Jerónimo López Martínez, doctor en Ciencias Geológicas, Universidad Autónoma de Madrid, España



Vista de la costa austral de la bahía Esperanza. A la izquierda, el faro de punta Foca (Dirección Nacional del Antártico)

Las condiciones ambientales, así como los valores que caracterizan el clima, se miden utilizando diversos instrumentos (termómetros, barómetros, etc.). Sin embargo, el periodo temporal que abarcan las mediciones obtenidas con instrumentos es muy corto. Esto ocurre en cualquier lugar del planeta, pero especialmente en las regiones polares y en particular en la Antártida. Hay muy pocas estaciones de medida de parámetros meteorológicos en la Antártida que posean más de 50 años de registros instrumentales. En este sentido sobresalen los datos meteorológicos obtenidos en forma continua desde 1904 por la base argentina Orcadas, cuya serie de datos instrumentales es la más antigua del continente.

EL HIELO ES EL ÚNICO MEDIO EN EL QUE SE HAN CONSERVADO HASTA LA ACTUALIDAD PORCIONES DE LA ATMÓSFERA DE TIEMPOS REMOTOS, A TRAVÉS DE LAS BURBUJAS DE AIRE QUE HAN QUEDADO ATRAPADAS ENTRE SUS CRISTALES AL COMPACTARSE LA NIEVE INICIAL.

Desde hace algunos años se dispone de observaciones obtenidas por satélites. Sin embargo, su representatividad aún es limitada debido a que se remontan solo a unas pocas décadas. Para los estudios climáticos es conveniente contar con series de datos que se extiendan de manera continua al menos durante 30 años consecutivos.

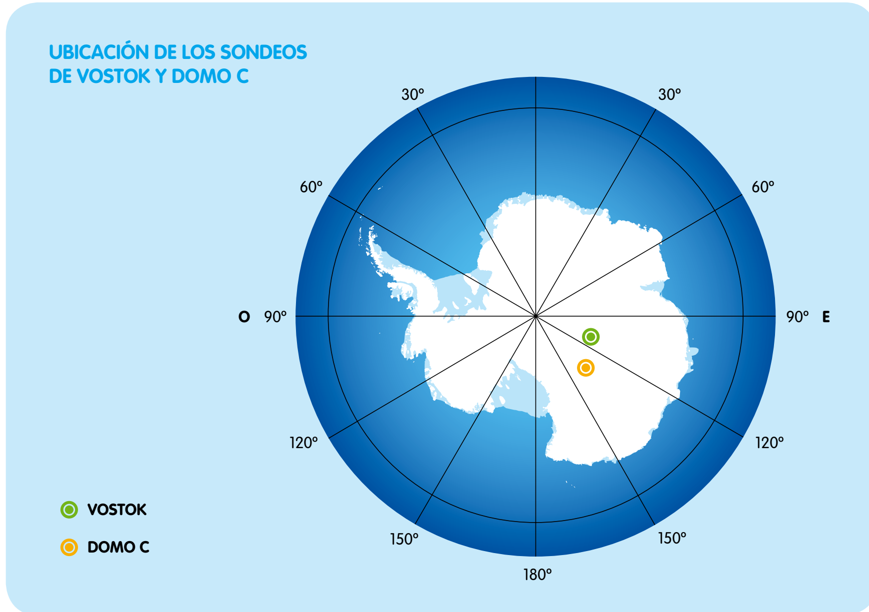
Debido a esas limitaciones, para caracterizar el clima y las condiciones ambientales del pasado (también llamadas *paleoambientales*) es necesario recurrir a los medios naturales donde haya podido permanecer almacenada esa información. Uno de estos medios son las rocas sedimentarias, que al formarse sobre la superficie terrestre, pueden reflejar las condiciones de origen y actuar como un archivo de datos ambientales. Otros son los sedimentos marinos, tanto en el ámbito litoral como en los fondos profundos; los sedimentos lacustres; los depósitos superficiales emergidos, como las playas levantadas correspondientes a antiguos niveles marinos o los depósitos glaciares que indican las fluctuaciones experimentadas por el hielo; y las formas erosivas y los resultados de la alteración producida por la acción de la atmósfera sobre las rocas.

También los fósiles son un medio de gran utilidad. A través de ellos, es posible deducir las características del hábitat en el que desarrollaban su actividad, así como ciertos rasgos paleogeográficos.

LAS REGIONES POLARES Y, EN PARTICULAR, EL HIELO SON ESPECIALMENTE SENSIBLES A LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS, A LA VEZ QUE PRIVILEGIADOS MEDIOS PARA ESTUDIAR CÓMO HA VARIADO EL CLIMA TERRESTRE EN EL PASADO.

El hielo como indicador de las condiciones ambientales del pasado

Las regiones polares y, en particular, el hielo son especialmente sensibles a los cambios climáticos, a la vez que privilegiados medios para estudiar cómo ha variado el clima terrestre en el pasado. Esto es de gran importancia para situar el cambio climático actual en un contexto temporal adecuado. La abundancia de hielo así como los avances y retrocesos de los glaciares tienen una estrecha relación con la evolución del clima. Es evidente que, si no hay suficiente frío, los glaciares tienden a disminuir su tamaño, a fundirse y a desaparecer. Por el contrario, en periodos largos de enfriamiento, las masas de hielo ocupan mayor extensión y volumen. Por lo tanto, los glaciares son en cierto modo sensores de los cambios climáticos. Los glaciares de pequeño tamaño son más sensibles y responden con mayor rapidez a los cambios que los grandes casquetes helados.



El hielo es en sí mismo una extraordinaria fuente de información y ha proporcionado algunas de las mejores evidencias sobre el clima del pasado. Las relaciones de isótopos estables del oxígeno y del hidrógeno en la molécula de agua que constituye el hielo es, en cierto modo, un termómetro que permite saber qué temperaturas tenía el aire cuando se producían las nevadas en épocas pretéritas. Además, el hielo es el único medio en el que se han conservado hasta la actualidad porciones de la atmósfera de tiempos remotos, a través de las burbujas de aire que han quedado atrapadas entre sus cristales al compactarse la nieve inicial. Extraídas y analizadas en el laboratorio, estas burbujas permiten conocer, por ejemplo, qué cantidad de gases que intervienen en el llamado efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano, había en la atmósfera. Es evidente el gran interés de esos datos, que corresponden a periodos que abarcan varios cientos de miles de años y que van mucho más allá de los tiempos en que se desarrollaron las actividades humanas.



Extracción de testigo de hielo (Dirección Nacional del Antártico)

Para estudiar los aspectos mencionados y hacer reconstrucciones del clima del pasado, son de máxima utilidad los glaciares polares, por su magnitud y por sufrir menos fusión que los de otras regiones. En este sentido, son en especial valiosos los hielos antárticos, situados muy lejos de las fuentes de contaminación antrópica y también de los focos naturales de producción de gases de efecto invernadero, como las áreas con vegetación (manglares, pantanos, etc.).

LOS DATOS SOBRE EL CLIMA DEL PASADO QUE PROPORCIONA EL HIELO DE LA ANTÁRTIDA RESULTAN ESENCIALES PARA CONTEXTUALIZAR EL CAMBIO CLIMÁTICO ACTUAL. SE APRECIA QUE LOS VALORES DE CO_2 EN LA ATMÓSFERA ACTUAL SON ALREDEDOR DEL 30 % MAYORES QUE LOS EXISTENTES EN LOS 800 000 ÚLTIMOS AÑOS.

LAS RELACIONES DE ISÓTOPOS ESTABLES DEL OXÍGENO Y DEL HIDRÓGENO EN LA MOLÉCULA DE AGUA QUE CONSTITUYE EL HIELO ES, EN CIERTO MODO, UN TERMÓMETRO QUE PERMITE SABER QUÉ TEMPERATURAS TENÍA EL AIRE CUANDO SE PRODUCÍAN LAS NEVADAS EN ÉPOCAS PRETÉRITAS.

La información sobre la atmósfera del pasado en el hielo antártico

Las perforaciones efectuadas en el hielo de la Antártida han proporcionado algunas de las mejores evidencias sobre los cambios climáticos sucedidos en los últimos cientos de miles de años. El sondeo realizado a lo largo de una veintena de años en la base rusa Vostok ha permitido conocer, entre otras cosas, los valores y la evolución que han experimentado la temperatura, el CO_2 y el metano a lo largo de los últimos 420 000 años de la historia de la Tierra.

El magnífico registro de Vostok se ve hoy complementado y ampliado, en lo que se refiere a extensión temporal, gracias a la perforación de 3200 m de profundidad realizada en años recientes en el Domo C. Esta ha proporcionado hielo, cuyo estudio se encuentra en curso, que amplía de forma notable el conocimiento sobre el clima de los 800 000 últimos años.

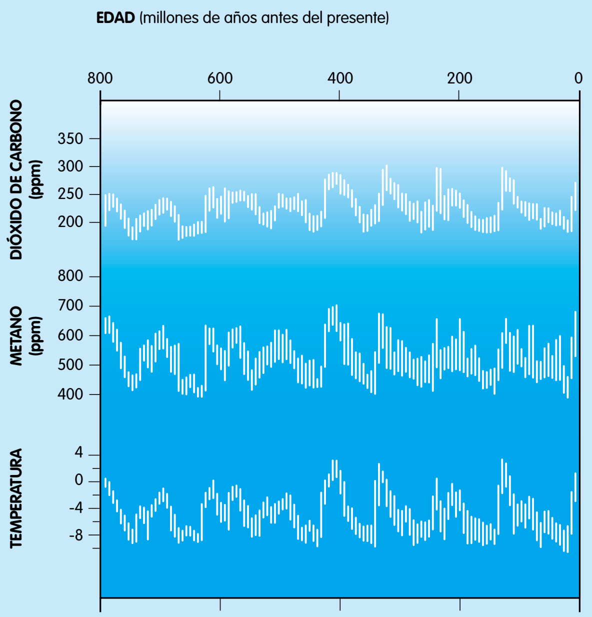
Son, precisamente, los análisis realizados sobre el hielo, primero en el sondeo de Vostok y ahora en el del Domo C, los que han permitido comprobar algunos aspectos de enorme importancia a la hora de conocer las condiciones ambientales del pasado y de evaluar el cambio climático actual: 1) existe una clara relación entre las fluctuaciones de las temperaturas terrestres y los gases de efecto invernadero; 2) las cantidades de CO_2 y de metano en la atmósfera actual son bastante más altas que las de los 800 000 últimos años.

Los resultados obtenidos en el sondeo del Domo C ponen de manifiesto las características de la alternancia, a lo largo de los 800 000 últimos años, de una serie de periodos interglaciares (el último de los cuales es el actual) y periodos glaciares. En los periodos interglaciares coinciden valores más altos de CO_2 y de metano, y existe también una correlación evidente con los cambios en la llegada de radiación solar a la Tierra, que experimenta variaciones con regularidad.

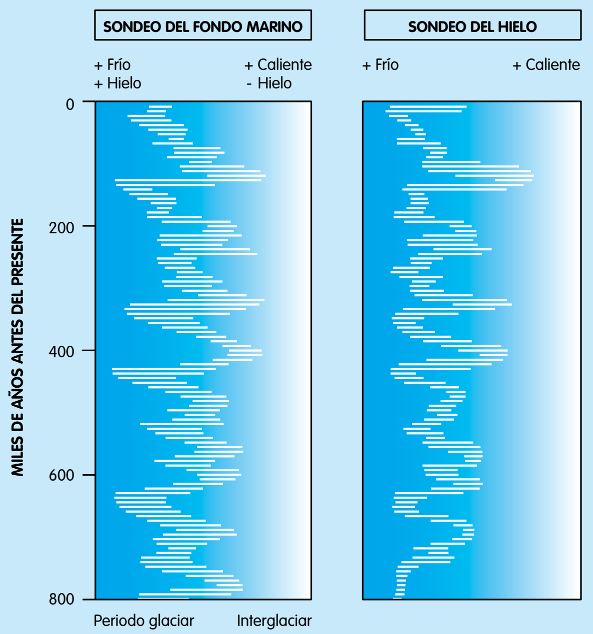
Los datos sobre el clima del pasado que proporciona el hielo de la Antártida resultan esenciales para contextualizar el cambio climático actual. Se aprecia que los valores de CO_2 en la atmósfera actual son alrededor del 30 % mayores que los existentes en los 800 000 últimos años. Por su parte, el contenido de metano es ahora el doble del máximo habido en ese periodo de tiempo.

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), establecido por las Naciones Unidas, utiliza la información procedente del hielo de la Antártida como una de las referencias clave para poner de manifiesto el grado de calentamiento actual y la responsabilidad de la intervención humana en los altos valores de gases de efecto invernadero existentes hoy en la atmósfera.

VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA, EL CO_2 Y EL METANO EN EL SONDEO DEL DOMO C



VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN SONDEOS EN SEDIMENTOS DEL FONDO MARINO Y EN HIELO DEL DOMO C



2.3 LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA, EL AGUJERO DE OZONO Y LA ACTIVIDAD SOLAR

Hernán Sala, licenciado en Ciencias Biológicas, Dirección Nacional del Antártico, Argentina



Península Antártica y mar congelado durante el invierno austral (Dirección Nacional del Antártico)

EL TRABAJO QUE REALIZA LA ATMÓSFERA COMO MÁQUINA TÉRMICA CONSISTE EN TRANSPORTAR Y DISTRIBUIR EL CALOR ACUMULADO EN EL ECUADOR Y LOS TRÓPICOS HACIA LOS POLOS.

La atmósfera es la cubierta de gases que rodea la superficie de nuestro planeta. Una parte de los constituyentes de la atmósfera son constantes y otros varían a lo largo del tiempo y de una zona a otra.

Entre los constituyentes constantes, los más importantes son el nitrógeno (N_2, 78,1 %) y el oxígeno (O_2, 20,9 %); entre los variables están el vapor de agua (H_2O en estado gaseoso), el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4).

También forman parte de la atmósfera pequeñas partículas denominadas aerosoles, que aun sin ser gases, permanecen suspendidas en el aire.

EL INCREMENTO DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO DEBIDO A LA ACTIVIDAD HUMANA ESTÁ PRODUCIENDO UN CAMBIO CLIMÁTICO, Y SE MANIFIESTA EN MARCADAS IRREGULARIDADES EN EL CLIMA DE DIVERSAS REGIONES, EN PARTICULAR EN LAS ALTAS LATITUDES. LA PENÍNSULA ANTÁRTICA ES UNA DE ELLAS, ALLÍ LA TEMPERATURA PROMEDIO DEL AIRE EN SUPERFICIE HA ASCENDIDO ALREDEDOR DE 2,5 °C EN LAS ÚLTIMAS CINCO DÉCADAS; LO CUAL CONSTITUYE UN INCREMENTO MUY CONSIDERABLE.

EL EFECTO INVERNADERO NO ES UN PROBLEMA EN SÍ MISMO, TODO LO CONTRARIO: DE NO EXISTIR, LA TEMPERATURA MEDIA DEL PLANETA SERÍA MÁS BAJA, Y LA VIDA EN LA TIERRA NO TENDRÍA LA DISTRIBUCIÓN NI LA DIVERSIDAD QUE POSEE EN LA ACTUALIDAD. TAMPOCO ES UN FENÓMENO QUE HAYA TENIDO ORIGEN EN LA ACTIVIDAD HUMANA.

Las características ópticas de la atmósfera están dadas por la composición de gases y el contenido de aerosoles, esto último muy variable según el lugar y el momento considerado. De tal modo, la cantidad y la calidad de la radiación solar que alcanza la superficie terrestre varían no solo con la latitud y la estación del año, sino también según la composición de la atmósfera y la presencia de aerosoles.

Suele decirse que la atmósfera es una máquina térmica, esto es, un sistema capaz de transformar energía calórica en trabajo. Debido a que los rayos del sol no llegan de igual modo a la superficie de la Tierra, existen regiones donde hay excedente de energía y otras en las que hay déficit. Esto significa que cerca del ecuador es mayor la energía recibida que la que sale, mientras que cerca de los polos ocurre lo contrario. Si se considera la diferencia entre toda la energía entrante y toda la energía saliente, se obtiene el llamado *balance energético*. En estrecha relación con el balance energético está, por ejemplo, la temperatura del aire y de los océanos. Las figuras de la página 41 ilustran cómo disminuye la temperatura promedio anual del aire y de la superficie del océano a medida que nos desplazamos desde latitudes medias hacia el polo Sur. El trabajo que realiza la atmósfera como máquina térmica consiste en transportar y distribuir el calor acumulado en el ecuador y los trópicos hacia los polos. El calor puede transferirse de distintas formas de una región a otra, pero sobre todo, lo hace mediante masas de aire o de agua que se dirigen desde los trópicos hacia los polos y viceversa.



Atardecer sobre un témpano (Marcelo Gurruchaga)

La radiación solar y el efecto invernadero

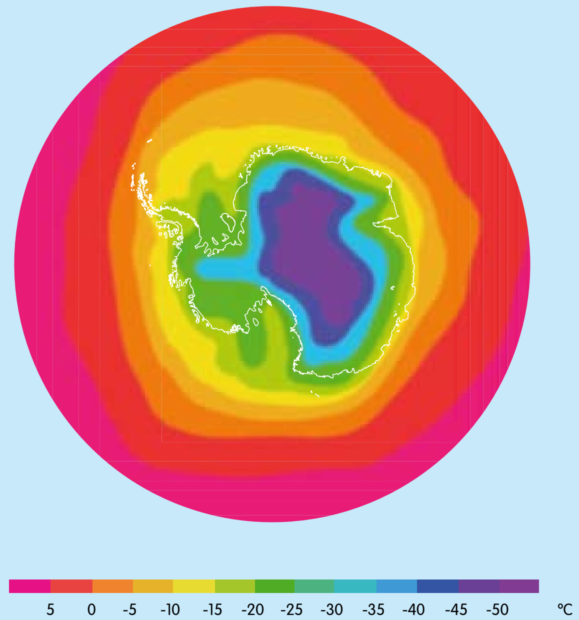
Cuando los rayos provenientes del sol alcanzan la atmósfera, una fracción se refleja y vuelve al espacio. Otra fracción penetra en la atmósfera y se dispersa, y finalmente, una pequeña parte alcanza la superficie terrestre en forma directa. Esta última (denominada *radiación directa*) más una fracción de la radiación dispersada por la atmósfera calientan el suelo, y este, a su vez, calienta la atmósfera. Es decir, la atmósfera se calienta *desde abajo*, debido a que recibe el calor desde el suelo o desde el océano, y no de manera directa por la sola incidencia de los rayos del sol. Por tal razón, se dice que la atmósfera es *transparente* a los rayos solares, también llamados *radiación de onda corta*, y que es *opaca* a la *radiación de onda larga*, es decir, al calor emitido por el suelo. Esta propiedad de la atmósfera se conoce como *efecto invernadero*, esto es, la llegada de energía proveniente del sol en forma de radiación de onda corta (energía lumínica o luz) y la retención parcial de energía en forma de onda larga (energía calórica o calor) emitida por los continentes, los océanos y la propia atmósfera. Decimos retención parcial porque esa energía se va liberando lentamente hacia el espacio exterior. Si no fuese así, la temperatura del planeta aumentaría en forma indefinida.
Por tanto, el efecto invernadero no es un problema en sí mismo, todo lo contrario: de no existir, la temperatura media del planeta sería más baja, y la vida en la Tierra no tendría la distribución ni la diversidad que posee en la actualidad. Tampoco es un fenómeno que haya tenido origen en la actividad humana.

La razón por la cual la atmósfera actúa como un invernadero se encuentra en las propiedades de algunos de los gases que forman parte de ella. Estos gases, que permiten la entrada de energía de onda corta (luz), pero que dificultan la salida de energía de onda larga (calor), se conocen como *gases de efecto invernadero*. La lista de gases de invernadero es amplia. Los más importantes son el vapor de agua, el metano y el dióxido de carbono. La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera afecta al balance energético de la atmósfera terrestre y, en consecuencia, afecta al clima, tanto global como local.

El vapor de agua (H_2O en forma de gas) es responsable de hasta un 60 % del efecto invernadero. Su acción individual supera los efectos combinados de los demás gases y su concentración es muy variable en tiempo y espacio.

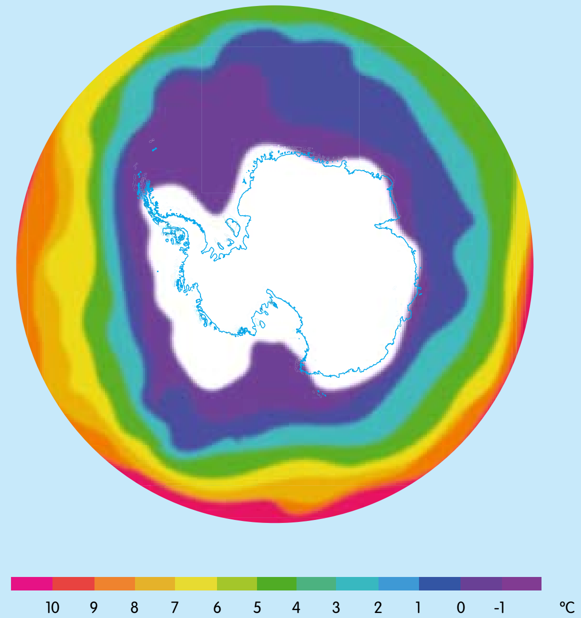
TEMPERATURA (°C) PROMEDIO ANUAL DEL AIRE EN SUPERFICIE DE LA ANTÁRTIDA Y SECTORES ADYACENTES

En esta figura se puede ver la marcada diferencia térmica que existe entre las diferentes latitudes (o zonas); a esta variación de las temperaturas en forma de anillos concéntricos se la denomina gradiente térmico meridional. Los valores ilustrados corresponden al periodo 1970-2008.



TEMPERATURA (°C) PROMEDIO ANUAL DE LA SUPERFICIE DE LOS OCÉANOS QUE RODEAN EL CONTINENTE ANTÁRTICO

En esta figura es posible observar un gradiente de temperaturas bastante marcado entre latitudes medias y altas. Las áreas de color blanco representan hielo marino, tierras emergidas, mantos o barreras de hielo que se ubican en la Antártida y a las que, al no estar cubiertas por océanos, no les corresponde una temperatura superficial del mar.



Se debe tener en cuenta que la escala de temperaturas y los colores utilizados no son los mismos para los dos gráficos
(National Centers for Environmental Prediction, NCEP, y Earth System Research Laboratory - Physical Sciences Division, ESRL-PSD, Boulder, Colorado, USA, http://www.cdc.noaa.gov/)

El metano (CH_4) tiene origen tanto en procesos naturales como antrópicos. Se produce sobre todo en procesos biológicos en ausencia de oxígeno (anaerobiosis). De ahí que sus fuentes naturales sean los pantanos y manglares, mientras que los arrozales y el ganado son las fuentes principales asociadas con la actividad humana. Si bien la cantidad de CH_4 en la atmósfera es relativamente baja, su capacidad para absorber radiación infrarroja es muy superior a la del dióxido de carbono.

El dióxido de carbono (CO_2) se ha incrementado en la atmósfera debido al uso intensivo de combustibles fósiles. En menor medida, también se genera durante la combustión de la madera, la degradación de la materia orgánica y la respiración aeróbica de los seres vivos en general.

El CO_2 de la atmósfera se encuentra en equilibrio con el CO_2 disuelto en los océanos. Este último, a su vez, está en equilibrio con otros compuestos carbonados inorgánicos también presentes en los mares. Tales compuestos inorgánicos constituyen una importante fuente de carbono para los organismos fotosintéticos que allí habitan, los cuales pueden fabricar, en presencia de luz, materia orgánica a partir de aquellos. Estos fenómenos químicos y biológicos inmovilizan durante cierto tiempo una fracción considerable del carbono que inicialmente se encontraba en la atmósfera en forma de CO_2. Como resultado de estos hechos, los océanos funcionan como amortiguadores o moderadores de la carga de CO_2 presente en la atmósfera.

El incremento de los gases de efecto invernadero debido a la actividad humana está produciendo un cambio climático, tal y como lo documentan los últimos informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático, y se manifiesta en marcadas irregularidades en el clima de diversas regiones, en particular en las altas latitudes. La península Antártica es una de ellas, allí la temperatura promedio del aire en superficie ha ascendido alrededor de 2,5 °C en las últimas cinco décadas; lo cual constituye un incremento muy considerable.



Témpano. Al fondo, la península Antártica y las islas Vega y Ross (Dirección Nacional del Antártico)

EL AGUJERO DE OZONO ES UN ADELGAZAMIENTO ESTACIONAL QUE ALCANZA SU MÁXIMA EXPRESIÓN DURANTE LA PRIMAVERA AUSTRAL, EN PARTICULAR EN LOS MESES DE OCTUBRE Y NOVIEMBRE.

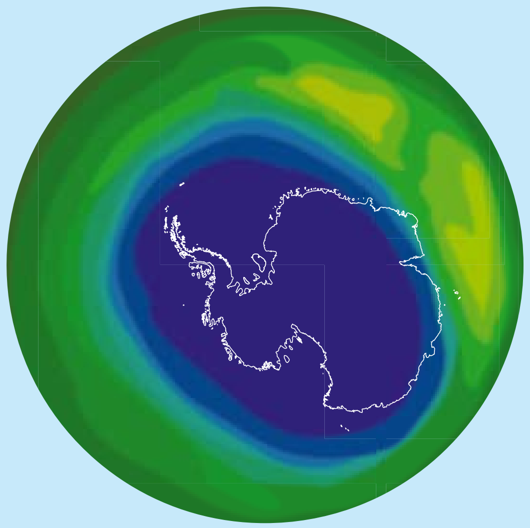
El agujero de ozono

Otro fenómeno que se observa sobre la Antártida es el adelgazamiento de la capa de ozono, también llamado *agujero de ozono*. En realidad, se trata de un adelgazamiento estacional que alcanza su máxima expresión durante la primavera austral, en particular en los meses de octubre y noviembre. El ozono (O_3) se concentra en la estratósfera, entre los 25 y 30 km de altura. La circulación de la atmósfera a esos niveles presenta un fenómeno cíclico estacional denominado *vórtice polar*, generado en buena medida por las muy bajas temperaturas que se registran sobre la Antártida durante el invierno austral. El marcado descenso de la concentración del ozono (hasta un 60 %) y la notable expansión de la superficie afectada en las últimas décadas han provocado preocupación internacional.

Como es sabido, la capa de O_3 actúa como filtro, impidiendo el paso de los rayos ultravioletas nocivos que forman parte de la energía emitida por el Sol. Diversos estudios indican que el principal responsable del deterioro de la capa de O_3 ha sido un grupo de compuestos de origen exclusivamente antrópico denominados en forma colectiva *clorofluorcarbonados*, más conocidos como CFC. Gracias a acuerdos internacionales (como el Protocolo de Montreal), la producción de dichos compuestos, hasta hace pocos años utilizados de forma masiva en la industria, fue restringida con firmeza desde fines de la década de los ochenta. Sin embargo, el adelgazamiento de la capa de O_3 no se ha revertido como se esperaba en un principio. Es probable que la atmósfera, en particular la estratósfera, requiera de un tiempo adicional para responder a la disminución de los CFC liberados en las décadas pasadas.

ADELGAZAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO O AGUJERO DE OZONO

La máxima extensión del agujero de ozono observada (hasta septiembre de 2009) ocurrió el 09/09/2000 y abarcó 29,9 millones de km^2.



(NASA, GSFC. Goddard Space Flight Center. http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/)

La actividad solar

La cantidad de energía emitida por el Sol en forma de radiación electromagnética es un determinante fundamental del clima terrestre. La constante solar es la cantidad de energía que incide sobre el techo de la atmósfera terrestre. Su valor ronda 1366 W/m^2 (esto es, energía por segundo [potencia]por unidad de área). No obstante, aunque se denomine constante solar, presenta pequeñas variaciones que están ligadas al **ciclo solar**. Es decir que las emisiones del Sol (considerando no sólo la luz visible, sino también los rayos ultravioleta, las partículas ionizadas, etc.) varían a lo largo del tiempo a medida que transcurre el ciclo solar.

El ciclo de las manchas solares no es estrictamente periódico en el sentido matemático del término, sin perjuicio de que su comportamiento se asemeja mucho al de una función periódica como el seno o el coseno. Los ciclos, a pesar de sus irregularidades en cuanto a duración, amplitud y simetría, tienen un patrón bastante predecible. Se repiten cada 11 años, más específicamente cada 131 meses ± 14 meses (véase el gráfico de la página 43).

Si bien el ciclo de las manchas solares es en sí un fenómeno bastante conocido por los astrónomos, aún no se conoce de manera exacta cuáles son sus relaciones con las variaciones en la constante solar. La mayor incertidumbre con respecto a este tema radica en cómo tales variaciones en el comportamiento del Sol pueden afectar al clima terrestre.



Aurora polar en la base argentina Belgrano II (Dirección Nacional del Antártico)

DEBIDO A QUE LOS RAYOS DEL SOL NO LLEGAN DE IGUAL MODO A LA SUPERFICIE DE LA TIERRA, EXISTEN REGIONES DONDE HAY EXCEDENTE DE ENERGÍA Y OTRAS EN LAS QUE HAY DÉFICIT. ESTO SIGNIFICA QUE CERCA DEL ECUADOR ES MAYOR LA ENERGÍA RECIBIDA QUE LA QUE SALE, MIENTRAS QUE CERCA DE LOS POLOS OCURRE LO CONTRARIO.

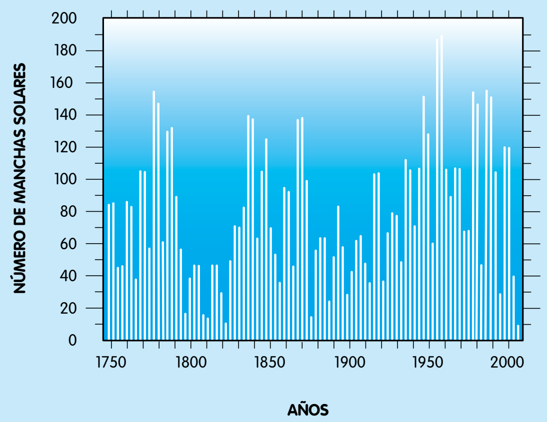
Si ampliamos la escala temporal de análisis hacia atrás, podemos constatar estas variaciones, ya que existen evidencias indirectas que indican que en el siglo XIX la constante solar alcanzó valores cercanos a 1360 W/m^2 e, incluso, menores en el siglo XVII.

Los valores de la constante solar acompañan el ciclo de las manchas solares, es decir, son mínimos cuando el número de manchas solares también es mínimo y son máximos cuando el número de manchas también es máximo. Si bien esto puede parecer poco intuitivo, al incrementarse el número de manchas, las regiones adyacentes potencian la emisión de energía. De este modo, el Sol emite más energía cuanto mayor es el número de manchas solares. Por ejemplo, se estima que durante el *mínimo de Maunder* (así se denomina un mínimo en el número de manchas solares ocurrido entre los años 1645-1715 de nuestra era), la constante solar se habría reducido un 0,2 %. Pero lo más interesante es que el mínimo de Maunder coincide bastante bien con la Pequeña Edad de Hielo, la cual transcurrió aproximadamente entre los siglos XVI y XIX, durante la que hubo un avance relativo de los glaciares y de los climas fríos.

Los enfriamientos que marcaron el comienzo de las grandes glaciaciones debieron estar conectados con modificaciones en la distribución y en la cantidad de radiación solar.

Aun cuando todavía sea tema de discusión la forma en que los ciclos solares afectan al clima terrestre, es un hecho reconocido que son un condicionante de importancia en el clima terrestre.

NÚMERO DE MANCHAS SOLARES



(Dirección Nacional del Antártico. Datos crudos provistos por la NASA, Solar Physics, Marshall Space Flight Center, http://science.nasa.gov/ssl/pad/solar/sunspots.htm)

2.4 EL HIELO Y LOS GLACIARES

Hernán Sala, licenciado en Ciencias Biológicas, Dirección Nacional del Antártico, Argentina



Glaciares en la isla Ross (Dirección Nacional del Antártico)

Prácticamente la totalidad del relieve antártico se encuentra bajo una gruesa cubierta de hielo, que llega a superar en algunas zonas los 4500 m de espesor. Por otra parte, el mar que rodea el continente se encuentra bajo una capa de hielo marino que persiste durante gran parte del año. Incluso, en las regiones más australes, como el mar de Weddell, esta cubierta de hielo marino llega a mantenerse durante los meses de verano. El hielo se presenta de diversos modos en la Antártida.

CASI LA TOTALIDAD DEL MANTO DE HIELO CONSISTE EN UN ENORME DESIERTO POLAR SITUADO A UNA ELEVACIÓN CONSIDERABLE, SOBRE EL CUAL LAS NEVADAS ALCANZAN UNOS POCOS CENTÍMETROS AL AÑO.

Los glaciares

Los glaciares son masas de hielo que se forman a partir de la acumulación, compactación, fusión parcial y congelamiento de la nieve que precipita en superficie. El aumento de la presión que ejerce la progresiva acumulación de nieve, hace que esta sufra un proceso, denominado *metamorfosis*, en el que se va transformando en hielo. Lentamente, su densidad va aumentando y sus cristales van modificándose hasta adquirir las características propias del hielo. El tiempo que requiere esta transformación es muy variable y depende en gran parte de la temperatura ambiente. En general, cuanto menor es la temperatura, con más lentitud y a mayor profundidad ocurre la metamorfosis. Por ejemplo, en las regiones más frías de la Antártida puede necesitar bastantes años, mientras que en los glaciares de zonas templadas requiere solo unos pocos.

Un aspecto fundamental en el comportamiento o dinámica de los glaciares es lo que se conoce como *balance de masa*. Consiste en la diferencia entre el agua (en cualquiera de sus formas: hielo, nieve o líquido) que se aporta a un glaciar y la que sale de este. El balance de masa puede dar resultado positivo o negativo, lo cual indica, respectivamente, si un glaciar *crece* o *se reduce*.

Al realizar el balance de masa, es posible dividir un glaciar en dos áreas. La primera, el área de acumulación, donde el balance de masa da resultado positivo y la segunda, el área de ablación, donde el balance da resultado negativo. En la actualidad, la mayor parte de los glaciares del mundo brindan un balance de masa negativo año tras año, al menos durante las últimas décadas; es decir que, en líneas generales, la mayor parte de los glaciares del mundo disminuyen su superficie y su volumen.

Dado que, en definitiva, los glaciares están formados por agua, el balance de masa nos informa acerca de cuál es la disponibilidad potencial de este preciado recurso y también nos orienta sobre las perspectivas futuras.

En el presente los mayores casquetes o mantos de hielo se encuentran en la Antártida y en Groenlandia. El manto de hielo antártico cubre prácticamente la totalidad del continente y presenta un gran grosor. Por ello, la Antártida es el continente con mayor altitud media, superior a los 2000 m sobre el nivel del mar.

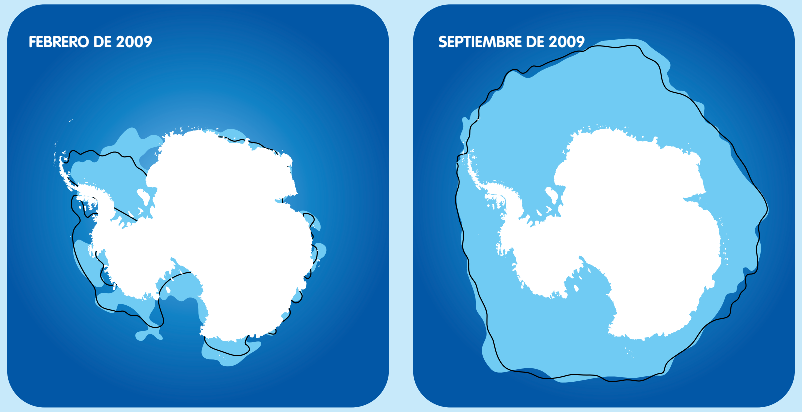
Casi la totalidad del manto de hielo consiste en un enorme desierto polar situado a una elevación considerable, sobre el cual las nevadas alcanzan unos pocos centímetros al año. Incluso hay áreas en las que apenas se llega a producir acumulación alguna a lo largo de todo el año. Las grandes nevadas solo son frecuentes en las regiones costeras.

En el manto de hielo de la Antártida se distinguen corrientes de hielo en las que el flujo es bastante más rápido que en las áreas adyacentes. La velocidad con que se mueve el hielo en las corrientes es hasta 10 veces superior a la del hielo circundante y puede alcanzar valores próximos a los 2000 m por año. Esta gran diferencia en cuanto a las velocidades de desplazamiento hace que sus bordes estén delineados con claridad por grandes y regulares sistemas de grietas, gracias a los cuales sus límites se reconocen con relativa facilidad.

Las corrientes de hielo son elementos clave en la estabilidad de los mantos de hielo, no solo de la Antártida, sino también de Groenlandia. Se estima que hasta un 90 % de la descarga de hielo de la Antártida ocurre a través de un número relativamente bajo de corrientes de hielo. Esto significa que las corrientes de hielo son los elementos más dinámicos de la criósfera y que, a su vez, regulan la estabilidad de los mantos de hielo y, en consecuencia, también del nivel del mar.

EXTENSIÓN DEL HIELO MARINO

La imagen de la izquierda muestra la extensión alcanzada durante febrero de 2009 y la de la derecha en septiembre del mismo año. Los valores observados fueron 2,9 y 19,1 millones de km^2, respectivamente. La línea negra indica la posición media del hielo marino para cada uno de estos meses.



(National Snow and Ice Data Center, NSIDC. http://nsidc.org/)

Las barreras o plataformas de hielo

Son grandes masas de hielo que flotan o se apoyan sobre el fondo marino, y abarcan extensiones del orden de cientos a miles de km^2, con un espesor que puede llegar a los 600 m. La mayor parte del hielo que forma las barreras proviene de glaciares tributarios adyacentes. El resto del hielo que las constituye, en general una fracción minoritaria, se forma a partir de la acumulación ocurrida en la propia superficie de la barrera.

El estudio de la velocidad con que son transportados los sedimentos ubicados sobre las plataformas de hielo indica que la formación de estas en la península Antártica ha demandado como mínimo varios siglos, incluso más de mil años en el caso de la barrera de hielo Wilkins, ubicada al suroeste de la zona. Las barreras son casi exclusivas del continente antártico, fuera de este solo existen unas pocas y más pequeñas en el Ártico.

Las barreras o plataformas no deben ser confundidas con el hielo marino, estas son mucho más gruesas, están constituidas por hielo glaciar y su extensión no está sometida a las fluctuaciones estacionales típicas del hielo marino. En síntesis, las barreras son una porción o extensión flotante de los glaciares continentales.

El permafrost

Se denomina *permafrost* al suelo que permanece helado al menos dos años consecutivos. Suele tener una capa superficial, llamada *capa activa*, que se descongela estacionalmente, mientras que las porciones más profundas se encuentran siempre congeladas. La extensión del permafrost en el hemisferio sur es limitada, debido a que la mayor parte de las altas latitudes de este hemisferio están ocupadas por océanos y, por tanto, hay muy poca superficie de suelo expuesto susceptible de ser congelado. Incluso en la Antártida, la superficie que ocupa el permafrost es bastante reducida, ya que la mayor parte del continente se encuentra cubierta por glaciares. Por el contrario, en el hemisferio norte la extensión del permafrost es muy significativa y ocupa vastas regiones en el norte de Europa, Asia y América.

En la actualidad el permafrost es intensamente estudiado, debido, entre otras cosas, a que al fundirse, la liberación de gas metano provoca importantes consecuencias para el efecto invernadero. Dado que el permafrost se está derritiendo a una velocidad considerable, en particular en el hemisferio norte, es posible que cantidades relevantes de metano se liberen a la atmósfera. Como se comentó en el apartado 2.3, el metano es un potente gas de efecto invernadero. De esta manera, la liberación de metano en gran escala por parte del permafrost que se está fundiendo supone una retroalimentación que puede reforzar aún más el efecto invernadero. Esto es, a mayor temperatura, mayor fusión del permafrost, lo que significa más liberación de metano y mayor efecto invernadero, hecho que, a su vez,favorece el aumento de la temperatura, y así sucesivamente.

2.5 LA CIRCULACIÓN OCEÁNICA Y EL MAR HELADO

Mónica Riofrío Briceño, licenciada en Oceanografía, Instituto Antártico Ecuatoriano, Ecuador
Hernán Sala, licenciado en Ciencias Biológicas, Dirección Nacional del Antártico, Argentina
Gabriela Tosonotto, licenciada en Oceanografía, Dirección Nacional del Antártico, Argentina



Faro Esperanza, ubicado sobre la mayor de las Rocas Grunden, cerca de la base argentina Esperanza. Al fondo, cruzando el estrecho Antartic, se ve la isla Joinville (Dirección Nacional del Antártico)

Los mares que rodean el continente antártico se extienden desde sus costas hasta un límite intangible denominado convergencia antártica, donde frías aguas antárticas de superficie se encuentran con aguas subantárticas, relativamente más cálidas. Allí las primeras, que son más densas por ser más frías, se hunden debajo de las aguas subantárticas y continúan su camino hacia el norte.

La convergencia antartica (CA) es una zona que rodea el continente antártico, cuya latitud oscila entre los 50˚ S en los sectores Atlántico e Índico, y los 60˚ S en el sector Pacífico. Su posición puede variar hasta 2˚ de latitud a lo largo del año, ubicándose más al norte en los meses fríos (septiembre a noviembre) y más al sur en los meses cálidos (enero a marzo). Está inmersa en la corriente circumpolar antártica (CCA) y constituye una importante frontera biológica y oceanográfica de unos 50 km de ancho. Se distingue en superficie por un salto térmico de 2 a 3 ˚C en pocos kilómetros.

La CA, también denominada *zona de frente polar antártico*, tiene su equivalente en la atmósfera, donde un frente polar atmosférico separa masas de aire frías en la región antártica de masas de aire más cálidas en la región subantártica. Para comprender la influencia de este límite natural sobre el clima de la región, podemos comparar las condiciones imperantes en la isla Tierra del Fuego y en las islas Georgias del Sur. Ambas están a similar latitud, sin embargo, Tierra del Fuego está al norte de la CA y tiene un clima subpolar más benigno y diversidad de especies vegetales (incluidos bosques) y animales. Las islas Georgias del Sur, en cambio, se hallan al sur de la CA y su clima es netamente polar (en ocasiones puede alcanzar los 10 ˚C), con muy escasa vegetación.

La mayoría del suministro de agua dulce a los mares antárticos proviene de glaciares, ya sea por desprendimiento de témpanos o por procesos de fusión en la base de las plataformas de hielo y a lo largo de sus paredes verticales, que cubren un 45 % de la línea costera antártica.

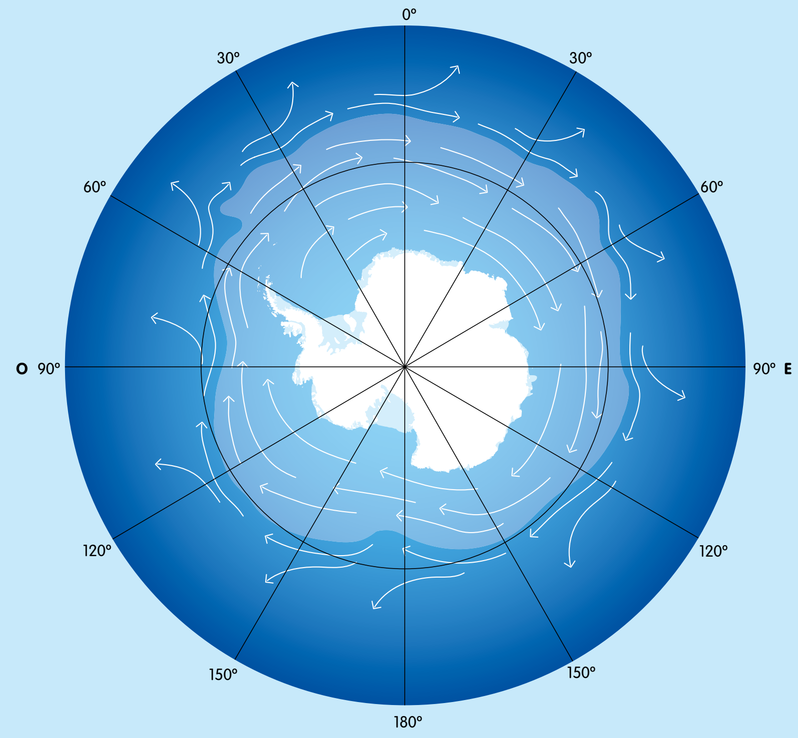
La corriente circumpolar antártica

Los vientos predominantes del oeste que circulan alrededor del continente antártico generan la CCA, que transcurre sin interrupciones de masas terrestres, conectando los tres principales océanos: Atlántico, Índico y Pacífico. Debido a su gran profundidad (hasta 4000 m) y amplitud (32 km de ancho), la CCA transporta un gran volumen de agua, estimado en unos 134 millones de m^3/s.

Por otra parte, en la zona cercana al continente antártico, hay una corriente costera que fluye hacia el oeste, debida a los vientos predominantemente orientales que soplan cerca de la costa. Su trayectoria no es del todo uniforme, sino que presenta giros en sentido horario en los mares de Weddell y de Ross, de los que el más importante es el denominado *giro del Weddell* (GW). En la región suroeste del mar de Weddell se producen las aguas más densas del planeta debido a que son muy frías y tienen un alto contenido de sales tras la formación de hielo marino en superficie. Esta masa de agua se hunde hasta el fondo marino y forma el agua de fondo del mar de Weddell, que circula hacia el norte. La circulación de la corriente costera hacia el oeste y la de la CCA hacia el este hacen que el agua antártica de superficie, por el efecto de Coriolis, se desvíe en parte hacia el sur e intervenga en la formación de aguas de fondo, y en parte hacia el norte, se hunda luego en la CA y forme el agua intermedia antártica presente en el océano Atlántico. Las aguas de superficie son entonces reemplazadas por un lento, pero constante flujo ascendente de aguas de mayor profundidad.

Las aguas de fondo de la rama occidental se ven impedidas de salir de la cuenca por el sistema de dorsales que la limitan al norte, y continúan su trayectoria en el GW a 5000 m de profundidad o más. Pero las aguas de profundidad intermedia que circulan por encima sí pueden escapar del giro por encima de las dorsales o por fisuras profundas, se extienden hacia el norte, llenan las cuencas de fondo de los océanos mundiales y participan en la **circulación termohalina mundial** (causada por variaciones en temperatura y salinidad). Esta especie de *cinta transportadora* es un componente principal del sistema climático terrestre, ya que contribuye al balance energético del planeta, a través de los flujos de calor y sal entre los trópicos y las regiones polares. La producción de agua de fondo antártica cumple un papel importante en el mantenimiento de la circulación termohalina mundial.

CIRCULACIÓN SUPERFICIAL DEL OCÉANO ANTÁRTICO



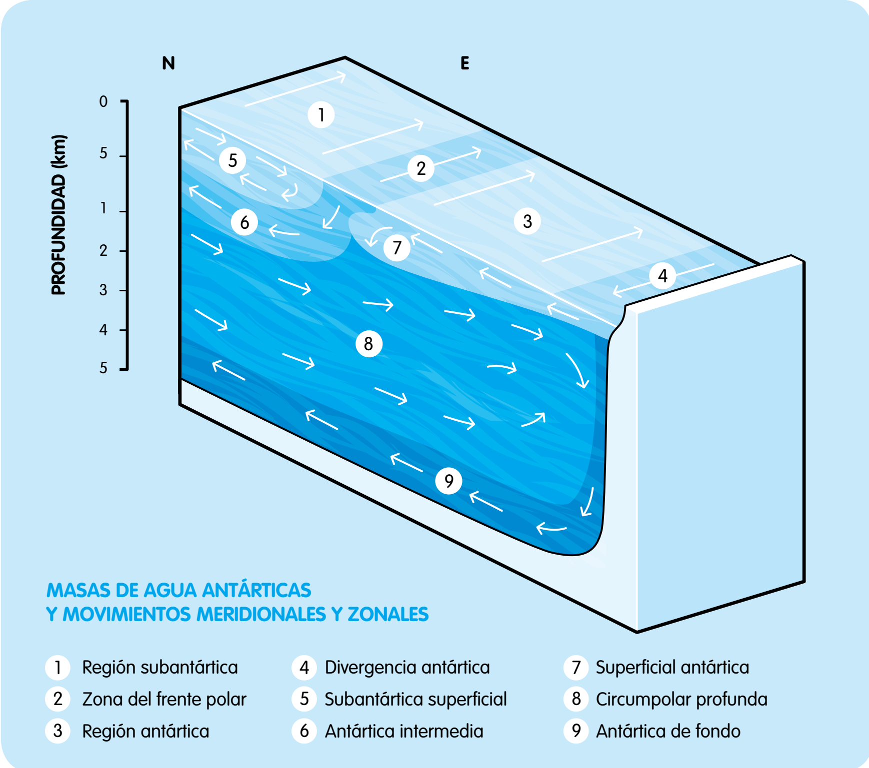
(Michael R. Drabble)

El hielo marino y el calentamiento global

La formación de hielo marino favorece la formación de agua de fondo porque el congelamiento produce aguas más frías y de mayor salinidad, y en consecuencia, de mayor densidad. Por otra parte, las aguas densas que se hunden llevan dióxido de carbono (CO_2) proveniente de la atmósfera hacia la profundidad. Si por efecto del calentamiento climático se reduce el área de cobertura de hielo marino, menos CO_2 y calor atmosférico son llevados hacia la profundidad, se acumulan en la atmósfera y provocan un mayor calentamiento.

El hielo marino se forma debido a que la superficie del mar es más cálida que la atmósfera, así, el agua entrega calor al aire y se enfría, haciéndose, a la vez, más densa. De este modo, el agua de superficie comienza a hundirse y es reemplazada por agua menos densa subsuperficial, con lo que se inicia un movimiento vertical (convección) que unifica la temperatura en la columna de agua hasta alcanzar el punto de congelamiento (–1,9 ˚C para el agua de mar de salinidad media). A partir de este momento, comienza el congelamiento en superficie, expulsando la sal hacia el agua subyacente. Así, el agua fría se hace más salina. Algo de sal queda

LOS VIENTOS PREDOMINANTES DEL OESTE QUE CIRCULAN ALREDEDOR DEL CONTINENTE ANTÁRTICO GENERAN LA CORRIENTE CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA, QUE TRANCURRE SIN INTERRUPCIONES DE MASAS TERRESTRES, CONECTANDO LOS TRES PRINCIPALES OCÉANOS: ATLÁNTICO, ÍNDICO Y PACÍFICO.



(Michael R. Drabble)

atrapada en el hielo marino y por gravedad se va perdiendo a lo largo del año. Durante este proceso, hay distintos estadios, hasta que se consolida el campo de hielo marino (denominado *banquisa*). Algunas zonas se mantienen sin congelar.

La extensión del campo de hielo marino es variable, de menos de 3 millones de km^2 en febrero a casi 20 millones de km^2 en septiembre. Además, presenta variaciones interanuales. Tiene particular importancia en los ecosistemas polares, ya que, entre otros, produce los siguientes efectos: a) disminuye el intercambio de calor y gases entre la atmósfera y el agua, y favorece la conservación de calor en el océano; b) reduce la radiación solar que penetra en el océano, utilizada como fuente de energía por organismos fotosintéticos; c) incrementa el albedo (el hielo refleja la mayor parte de la radiación solar en lugar de absorber una buena parte, como lo haría el agua), por lo que se mantienen temperaturas atmosféricas bajas y se favorece la formación de más hielo; d) proporciona un microhábitat para el desarrollo de comunidades microbianas que viven adosadas o estrechamente asociadas al hielo marino; e) almacena nutrientes (en particular compuestos nitrogenados), que son liberados al producirse la fusión del hielo en primavera y dan origen a un pulso estacional de nutrientes en los ecosistemas marinos polares, asociado a las floraciones de fitoplancton; f) brinda un espacio a diversos animales para su descanso, su alimentación y su reproducción. Como resultado de estos fenómenos físicos, químicos y biológicos, el impacto del hielo marino va más allá de los límites locales y regionales de la Antártida, y afecta al clima y la biota mundiales.

SI POR EFECTO DEL CALENTAMIENTO CLIMÁTICO SE REDUCE EL ÁREA DE COBERTURA DE HIELO MARINO, MENOS CO_2 Y CALOR ATMOSFÉRICO SON LLEVADOS HACIA LA PROFUNDIDAD, SE ACUMULAN EN LA ATMÓSFERA Y PROVOCAN UN MAYOR CALENTAMIENTO.

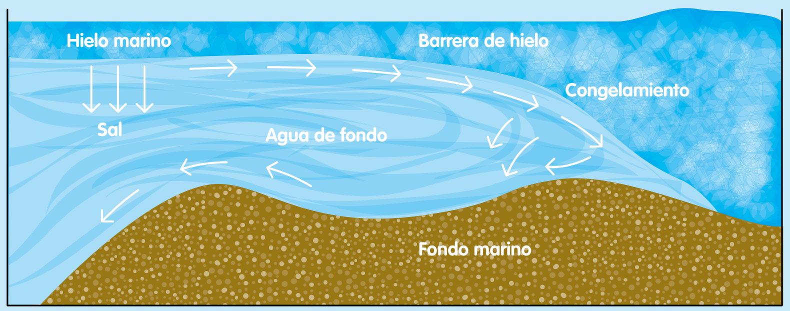
Las barreras de hielo

La interacción de las barreras o plataformas de hielo con el océano da lugar a la producción de agua de fondo al congelarse el agua de mar en contacto con la base del hielo en un proceso similar al de formación de la banquisa o campo de hielo marino. Por otra parte, si el agua profunda proveniente del norte (agua profunda circumpolar), relativamente cálida, alcanza la base de una barrera de hielo, puede producir fusión y formar una masa de agua menos densa por aporte de agua dulce.

Se sabe que este fenómeno, llamado *fusión basal*, ha sido uno de los factores desencadenantes del colapso de algunas de las barreras de hielo de la península Antártica.

Una característica de la circulación oceánica de alrededor del continente antártico es la llamada *onda circumpolar antártica* (OCA), descubierta en 1996, inmersa en la CCA, que se traslada hacia el este y da una vuelta completa alrededor del continente antártico cada 8 o 9 años. Consiste en dos regiones de agua relativamente cálidas cada 3000 a 6000 km, separadas por dos regiones de agua relativamente fría. Involucra también a la atmósfera, en particular a la temperatura, los vientos y la presión atmosférica, y afecta al clima de las regiones continentales australes que rodean estos mares. Una región de alta presión atmosférica da como resultado un clima más seco que el normal. Hay así un ciclo de 4 a 5 años en las precipitaciones. Una fase fría se corresponde con un patrón normal de precipitación. Esta característica se estima que está en relación con el fenómeno de El Niño.

PROCESO DE FORMACIÓN DE AGUA DE FONDO EN LA BASE DE UNA BARRERA DE HIELO



2.6 LOS AMBIENTES SUBGLACIARES: LAGOS Y RÍOS BAJO EL HIELO

Jerónimo López Martínez, doctor en Ciencias Geológicas, Universidad Autónoma de Madrid, España



Témpanos tabulares (Marcelo Gurruchaga)

La enorme masa de hielo que recubre la Antártida no se encuentra estática: se mueve. Ese flujo se produce porque el hielo no está sólidamente unido a las rocas subyacentes, sino que, al igual que ocurre en otros glaciares, existe una película de hielo que se funde y favorece el deslizamiento. Este hecho sucede, incluso, en glaciares de gran espesor, como es el caso del casquete glaciar antártico, que como ya se mencionó, posee alrededor de 2000 m de espesor medio y en algunos puntos llega a superar los 4500 m.

EN LA ACTUALIDAD SE SABE QUE EXISTEN MÁS DE 160 LAGOS DE DIMENSIONES CONSIDERABLES BAJO EL CASQUETE GLACIAR ANTÁRTICO.

La energía calorífica que origina dicha fusión no viene de la radiación solar, ya que su efecto no llega a alcanzar la base del hielo. Procede de la energía geotérmica, que desde el interior del planeta, llega a la superficie de las rocas a través del flujo calorífico terrestre (denominado *flujo geotérmico*), el cual puede alcanzar temperaturas considerables en zonas con anomalía geotérmica.

La existencia de agua líquida en el interior de la masa de hielo y en particular en la interfase roca-hielo, así como su influencia en el flujo del hielo, se conoce desde hace tiempo. Sin embargo, en los últimos años se ha descubierto que las masas de agua existentes bajo el hielo de la Antártida y su papel en el flujo glaciar y en la pérdida de volumen de hielo poseen magnitudes mucho mayores de lo que se pensaba. Esto está haciendo cambiar algunas ideas establecidas hasta ahora en relación con la dinámica glaciar y con los balances de masa en el hielo.

La existencia de grandes lagos bajo miles de metros de hielo

A mediados de los noventa, mediante la interpretación de perfiles sísmicos, se descubrió la existencia de un lago de grandes dimensiones bajo unos 3500 m de grosor de hielo. Se encontraba, precisamente, en la vertical de la base rusa Vostok, situada en la Antártida oriental. El denominado *lago Vostok* posee una superficie de alrededor de 14 000 km² y una profundidad de agua líquida que en algunos puntos llega a alcanzar los 800 m.

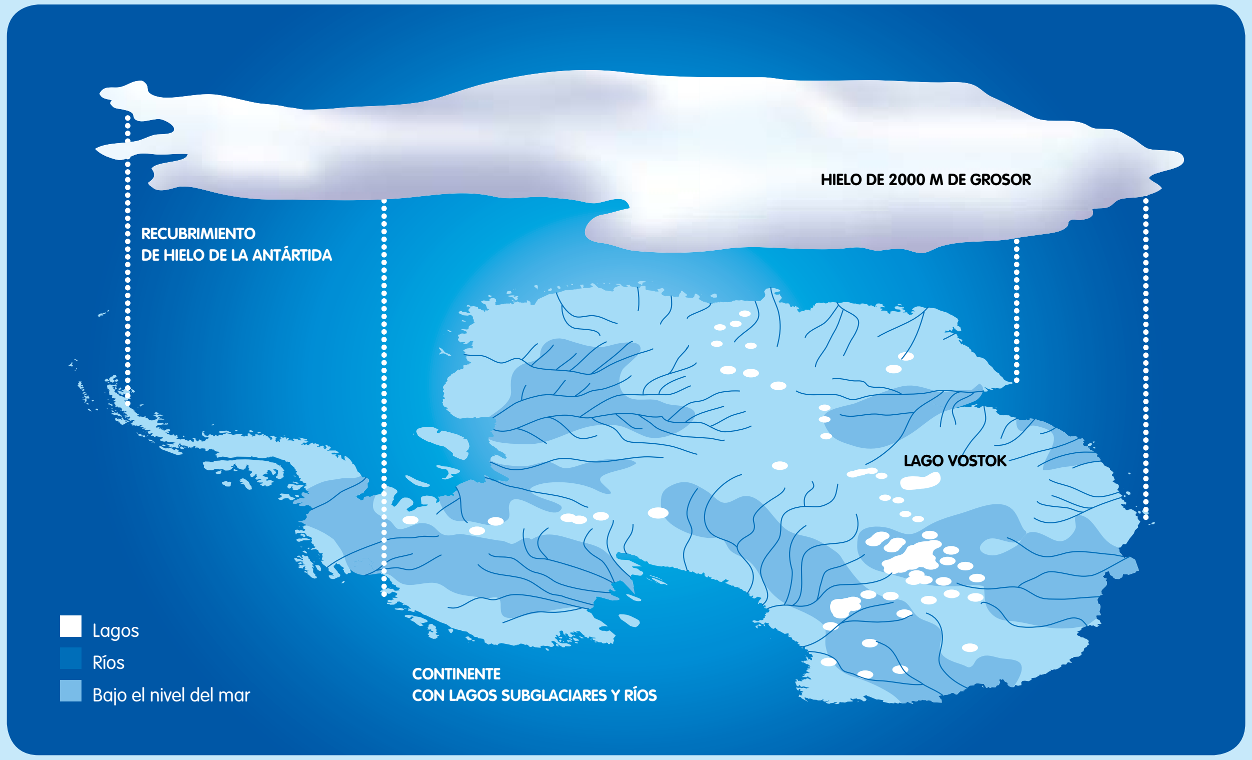
El lago Vostok ofrecía enorme interés para la investigación científica, al tratarse de un medio aislado del contacto con el exterior y con registros que, se supone, encierran una valiosa información geológica, glaciológica y microbiológica. Para asegurar un acceso que no lo contaminase, el sondeo, que desde hacía años se venía realizando en el hielo en la base Vostok, se detuvo a 140 m del lago. Al mismo tiempo, se incrementaron los estudios y el Comité Científico para la Investigación Antártica estableció un grupo de científicos especialistas en ambientes subglaciares. Con posterioridad se perforaron 50 m más, sin llegar al lago propiamente dicho, lo que permitió acceder a hielo procedente de recongelación de las aguas lacustres.

LA ENORME MASA DE HIELO QUE RECUBRE LA ANTÁRTIDA NO SE ENCUENTRA ESTÁTICA: SE MUEVE.

En la actualidad se sabe que existen más de 160 lagos de dimensiones considerables bajo el casquete glaciar antártico. El Vostok, con alrededor de 270 km de longitud y 50 km de anchura, sigue siendo el mayor de todos, y aunque todavía no se ha accedido al lago, los estudios realizados recientemente sobre los ambientes subglaciares en la Antártida ya han proporcionado nuevos conocimientos acerca del agua existente bajo el hielo, así como sobre sus movimientos y la influencia que tienen en el flujo del hielo.

Hasta hace poco se creía que las masas de agua acumuladas bajo el hielo estaban aisladas y poseían escasas o nulas interconexiones. Sin embargo, en el año 2007 se detectó la existencia de importantes ríos subglaciares, capaces de permitir el desagüe de algunos lagos y la formación de otros nuevos. Esto se dedujo a partir de la interpretación de las mediciones de altimetría de la superficie del hielo obtenidas desde satélites, las cuales detectaron hundimientos en unas zonas y subsecuentes ascensos de la superficie en otros lugares distantes. A partir de ello, se han localizado varias corrientes y conjuntos de lagos enlazados entre sí de este modo.

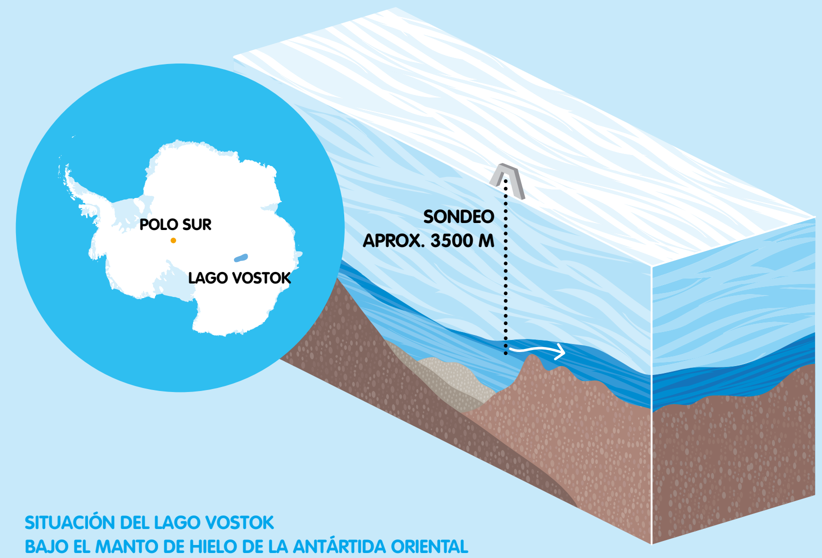
TOPOGRAFÍA Y RED DE DRENAJE BAJO EL MANTO DE HIELO ANTÁRTICO



(National Geographic)

Se ha apreciado también el importante papel que tiene el agua que circula bajo el hielo en el cálculo de los balances glaciares, en los aportes hídricos hacia la periferia de la Antártida y, en definitiva, en la dinámica del hielo. La velocidad de los glaciares se ve incrementada por el agua subglaciar. En ciertos casos aumenta el flujo de hielo hacia el mar, con efectos en la pérdida de hielo y la consiguiente contribución al aumento del nivel marino. Asimismo, la llegada de agua dulce al medio litoral provoca cambios en las características químicas del agua en las cercanías de la costa, lo que tiene consecuencias en los ecosistemas litorales y puede afectar en cierto modo a las corrientes marinas.

En el contexto actual de calentamiento existente en varias zonas de la Antártida, en especial en la península Antártica, la fusión nival y glaciar que se produce en verano aumenta la formación de agua dulce, la cual puede llegar a penetrar a través de las grietas hacia la base del hielo. Este efecto está ocurriendo de manera significativa en la región de la península Antártica y también en el hemisferio norte, en Groenlandia, donde se llegan a formar lagos superficiales de dimensiones considerables sobre el hielo y flujos del agua hacia el interior de los glaciares, por sumideros.



SITUACIÓN DEL LAGO VOSTOK
BAJO EL MANTO DE HIELO DE LA ANTÁRTIDA ORIENTAL

(National Geographic)

La rotura de plataformas de hielo y el flujo de los glaciares

Otro factor que afecta al flujo de los glaciares continentales hacia el mar es la rotura de las plataformas de hielo. Estas grandes masas de hielo procedente del continente, que flotan o se apoyan sobre el fondo marino, sufren en ocasiones roturas significativas o, incluso, se desintegran casi en su totalidad. En los últimos años ha habido notables ejemplos de estos procesos en varios lugares de la península Antártica. En marzo del año 2002, en solo un mes, se desintegraron alrededor de 3200 km² de la plataforma Larsen B, en el sector de la península Antártica orientado hacia el este, donde se encuentra el mar de Weddell. En el año 2008 comenzó otra importante rotura y la desestabilización de la plataforma de hielo de Wilkins, en la costa de la península Antártica que mira hacia el oeste, es decir, hacia el Pacífico.

En realidad, estas roturas, a pesar de que conllevan desprendimientos de enormes volúmenes de hielo, apenas contribuyen de modo directo a aumentar el nivel del mar, debido a que el hielo de la plataforma, en buena parte sumergido, ya ocupaba cierto volumen en el medio marino. Sin embargo, sí se derivan consecuencias indirectas, ya que, al desaparecer el freno que suponía la existencia de la plataforma marina, se produce una aceleración del flujo de los glaciares situados tras la plataforma. Y estos glaciares, que no están flotando, sino apoyados sobre terreno emergido, sí acarrean un incremento del aporte de hielo y una nueva contribución al nivel marino.

Los recientes descubrimientos en el medio subglaciar abren importantes temas de estudio futuro. Quedan muchos aspectos por conocer en diversos campos, desde la glaciología y la geología hasta la biología. Los procesos ligados a la dinámica glaciar se ven afectados por el calentamiento atmosférico, y sus consecuencias pueden tener gran repercusión, incluso más allá del propio ámbito antártico.

PARA ASEGURAR UN ACCESO QUE NO LO CONTAMINASE, EL SONDEO, QUE DESDE HACÍA AÑOS SE VENÍA REALIZANDO EN EL HIELO EN LA BASE VOSTOK, SE DETUVO A 140 M DEL LAGO.

HASTA HACE POCO SE CREÍA QUE LAS MASAS DE AGUA ACUMULADAS BAJO EL HIELO ESTABAN AISLADAS Y POSEÍAN ESCASAS O NULAS INTERCONEXIONES. SIN EMBARGO, EN EL AÑO 2007 SE DETECTÓ LA EXISTENCIA DE IMPORTANTES RÍOS SUBGLACIARES.

2.7 LA VIDA EN LA ANTÁRTIDA

Viviana Alder, doctora en Ciencias Biológicas, Dirección Nacional del Antártico, Argentina

LA PARTICULARIDAD Y EL PRINCIPAL VALOR DE LAS ESPECIES ANTÁRTICAS RESIDE EN SU ALTO GRADO DE ENDEMISMO Y EN SU CAPACIDAD PARA DESARROLLARSE Y REPRODUCIRSE EN CONDICIONES AMBIENTALES EXTREMAS.



Focas de Weddell asoleándose en la bahía Esperanza (H. Moreano)

En general, tanto el ambiente continental como el marino de la Antártida presentan una fauna y una flora relativamente pobres en número de especies, aunque en muchos casos con una elevada cantidad de organismos. La particularidad y el principal valor de estas especies residen en su alto grado de endemismo (es decir, que habitan casi con exclusividad en la Antártida) y en su capacidad para desarrollarse y reproducirse en condiciones ambientales extremas.

Más del 99 % de la superficie del continente antártico está cubierta por hielo, sobre el cual el desarrollo de organismos vegetales y animales es muy limitado. Sin embargo, en los sectores libres de hielo, localizados sobre todo en la franja costera, se registra una notable variedad de musgos, líquenes, hongos, protozoos, insectos, ácaros y algunos otros grupos animales. En el norte de la península Antártica, se encuentran, incluso, dos especies de plantas superiores: una gramínea y una dicotiledónea. Asimismo los lagos, que se congelan durante el invierno y se descongelan en verano, albergan numerosas especies de algas microscópicas, protozoos y crustáceos.

La mayor parte de los organismos presentes en estas latitudes viven en el ambiente oceánico. Algunos habitan la capa de agua superficial, y su capacidad de desplazamiento no resulta suficiente para oponerse a las corrientes marinas, por lo que terminan siendo transportados por los movimientos del agua. Es el caso del **plancton**, comunidad que incluye desde organismos microscópicos, como bacterias, algas unicelulares y protozoos, hasta organismos detectables a simple vista, como diversos crustáceos (incluidos el krill y los copépodos) y las salpas. Otros animales acuáticos de mayor tamaño, en cambio, tienen la capacidad de oponerse al movimiento de las corrientes y constituyen el **necton**, que es la comunidad de organismos nadadores activos, como peces, pingüinos y mamíferos marinos. Por último, se encuentra el **bentos**, grupo de organismos que dependen del fondo marino para su supervivencia y que pueden vivir a muy distintas profundidades. Entre los organismos bentónicos más comunes se encuentran las macroalgas, los moluscos bivalvos, los erizos y las estrellas de mar, los nemertinos y algunos peces. La distribución de estos organismos depende de las características del suelo, que puede ser rocoso o arenoso. Una particularidad que presentan algunas esponjas, crustáceos y arañas bentónicas antárticas es el gigantismo.

Las zonas costeras albergan ecosistemas únicos y muy importantes, con un alto número de aves y mamíferos, cuya alimentación, en forma directa o indirecta, depende del **krill**, un crustáceo rico en proteína y grasas, considerado el principal sostén de la fauna antártica.

El plancton

La vida en los océanos y en los lagos depende del desarrollo de algas unicelulares microscópicas que en conjunto se conocen como *fitoplancton*. Estas microalgas viven principalmente en la columna de agua, pero también suelen encontrase en gran número asociadas al hielo. Si bien la falta de luz durante el invierno limita su desarrollo, la compleja estructura alimenticia del ambiente antártico perdura aun en estas condiciones tan desfavorables porque, a medida que comienza la formación del campo de hielo marino, el fitoplancton que flota en la superficie del agua va quedando atrapado dentro del hielo. El krill, que se congrega bajo el hielo en busca de alimento y refugio, utiliza su aparato filtrador para retener las algas flotantes primero y para rasparlas y extraerlas del hielo luego, lo cual le permite sobrevivir y mantener activa la trama trófica.

Al llegar la primavera, el hielo marino comienza a fundirse, y tanto las algas fitoplanctónicas (que sobrevivieron encerradas en el hielo durante el invierno) como varias esporas y quistes de otros organismos, *siembran* la superficie del mar, donde encuentran las condiciones necesarias para su desarrollo: la luz solar y los nutrientes que, por acción del viento y de la circulación oceánica, son desplazados desde las aguas profundas hacia las superficiales. El resultado de este proceso es una verdadera explosión de fitoplancton, sobre todo en la franja costera y en la zona del borde del campo de hielo. Como consecuencia, el krill dispone de abundante alimento para su crecimiento y reproducción, aumenta su número a niveles muy elevados y satisface así las necesidades de los demás eslabones de la cadena alimenticia.

Además del krill, hay otros organismos planctónicos que juegan un papel clave en la cadena trófica. Un ejemplo lo constituyen las salpas, que en algunas oportunidades pueden ser tanto o más numerosas que el krill, y compiten con este por el fitoplancton. Los aumentos bruscos en la abundancia de salpas parecen estar relacionados con ciertos cambios en la cobertura del hielo marino. Los conocimientos actuales permiten suponer



Cormorán de ojos azules alimentando a su cría en la bahía Esperanza (Unidad Tecnología Marina - Consejo Superior de Investigaciones Científicas)



Lobo marino de dos pelos o foca peletera en la bahía Esperanza (Dirección Nacional del Antártico)



Extenso tapiz de musgos en la Antártida, durante el verano austral (Unidad Tecnología Marina - Consejo Superior de Investigaciones Científicas)



Krill debajo del campo de hielo (Jan van Franeker, IMARES)



Peces de hielo



Comunidad bentónica (Andrew Tabor, Australian Antartic Division)

que un campo de hielo extenso promueve un mayor desarrollo del krill (ya que, como hemos mencionado, crece a expensas de las algas que viven adheridas a su superficie), pero la reducción del campo de hielo, tal como ocurre algunos años, favorece el desarrollo de salpas, puesto que estas pueden ser más eficientes en la captura del fitoplancton flotante en aguas libres de hielo. Esta alternancia en el predominio de uno u otro grupo afecta en forma periódica a toda la estructura trófica antártica.

Los peces antárticos

Las aguas antárticas albergan unas 300 especies de peces. Si bien este número es relativamente bajo si se lo compara con el total de especies de peces que han sido registradas en el océano mundial (unas 23 000), cabe destacar que la gran mayoría son endémicas y pertenecen al grupo de los nototénidos. Estos peces se caracterizan por presentar importantes adaptaciones fisiológicas que les posibilitan vivir en aguas muy frías, como la presencia de glicoproteínas y una baja concentración de hemoglobina en sangre, lo cual les permite bajar el punto de congelación. Algunos, incluso, no poseen hemoglobina y son conocidos como *peces de hielo*. Otros carecen de vejiga natatoria (órgano que regula la flotabilidad) y están adaptados para vivir asociados al fondo marino, tanto en aguas costeras como profundas.

Las aves marinas

Las aves marinas también presentan poca diversidad, pero el número de individuos por especie es muy elevado. Además del cormorán antártico, la gaviota cocinera, el gaviotín antártico, la paloma antártica y el escúa, en la región antártica se pueden hallar entre seis y siete especies de pingüinos, de albatros y de petreles. Los pingüinos son las aves antárticas más numerosas. Durante la primavera regresan al continente para construir sus nidos o reacondicionar los existentes y reproducirse, aunque solo unas pocas especies (pingüino adelia, papúa y barbijo, entre otras) lo hacen en el ambiente antártico. Dado que dependen del ambiente marino para su alimentación, en su mayoría nidifican en las proximidades de la costa. El pingüino emperador (*Aptenodytes forsteri*) sobresale por diversos aspectos: mide cerca de 1,2 m de altura, es la única especie del grupo que se reproduce en invierno sobre el hielo, donde la hembra pone un solo huevo, que es incubado casi exclusivamente por el macho. Durante el prolongado período de incubación, la hembra se mantiene en el mar en busca de comida para luego regresar y alimentar a su cría. A partir de entonces, la pareja se mantiene unida, protegiendo a su pichón. Pueden bucear a profundidades superiores a los 300 m y consumen sobre todo peces, pero también predan krill y calamares. Viven unos 20 años, aunque existen menciones de individuos que alcanzaron los 50. Habitan principalmente sobre el hielo marino permanente (66º a 77º S). Pueden conservar la temperatura interna sin alterar su metabolismo en un amplio intervalo de temperaturas ambientales.

LOS PECES ANTÁRTICOS SE CARACTERIZAN POR PRESENTAR IMPORTANTES ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS QUE LES POSIBILITAN VIVIR EN AGUAS MUY FRÍAS. ALGUNOS, INCLUSO, NO POSEEN HEMOGLOBINA Y SON CONOCIDOS COMO PECES DEL HIELO.

LA BALLENA AZUL ES UNO DE LOS ANIMALES MÁS GRANDES QUE JAMÁS HAYA EXISTIDO EN EL PLANETA. ALCANZA LOS 30 M DE LONGUITUD, PESA HASTA 200 TONELADAS Y PUEDE CONSUMIR HASTA 4 TONELADAS DIARIAS DE KRILL.



Foca de Weddell (Dirección Nacional del Antártico)

Los mamíferos marinos

Las aguas antárticas albergan varias especies de pinnípedos y cetáceos y dan refugio a muchas otras que llegan a la región para alimentarse o reproducirse.

Entre los pinnípedos destacan los fócidos, como el elefante marino del sur, el leopardo marino y las focas de Weddell, de Ross y cangrejera. También los otáridos, cuyas poblaciones más numerosas son las de los lobos marinos antártico y subantártico. Tal como ocurre con los pingüinos y otras aves, estos organismos dependen del medio marino para su alimentación y del ambiente terrestre (incluso del hielo marino) para reproducirse, cambiar el pelaje o alimentar a las crías.

A diferencia de los pinnípedos, los cetáceos desarrollan toda su vida en el medio marino. En aguas antárticas proliferan las ballenas barbadas, cuyas láminas de queratina forman un filtro que les permite retener el plancton. Otras especies son el rorcual y las ballenas fin, minke, jorobada, franca austral, franca pigmea y azul (*Balaenoptera musculus*), destacada esta última por ser uno de los animales más grandes que jamás haya existido en el planeta. Alcanza los 30 m de longitud, pesa hasta 200 toneladas y puede consumir hasta 4 toneladas diarias de krill. Entre los odontocetos (cetáceos dentados) se encuentran la orca, el cachalote, el delfín piloto y los zífidos. Las orcas pueden formar grupos con comportamientos muy diferentes; algunos se alimentan principalmente de peces, mientras que otros predan focas, lobos de dos pelos y pingüinos.

Los recursos vivos

Algunas especies de peces, centollas, calamares y el krill son hoy objeto de explotación comercial en las aguas antárticas y en sus proximidades. El delicado equilibrio ecológico que existe en este ecosistema tan poco diverso y de condiciones tan extremas, sumado al hecho de que resulta especialmente dificultoso controlar las empresas pesqueras que operan en la zona, dio lugar a la firma en 1980 de la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos, con el objetivo de conservar estos recursos marinos, salvaguardar el medio ambiente y proteger la integridad de los ecosistemas antárticos. Para ello, y sobre la base de información científica, se establecen medidas de conservación pertinentes, prestando especial atención a las especies antárticas sometidas a explotación. Dos claros ejemplos de especies amenazadas por las actividades pesqueras son la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) y el krill. La merluza negra no solo es una de las especies de peces nototénidos más grandes, sino que su carne es muy codiciada por su alto



Gaviotín (Marcelo Gurruchaga)

valor en el mercado. Con respecto al krill, la biomasa circumpolar de estos organismos se ha calculado en 155 millones de toneladas, quizás mayor que la de cualquier otra especie animal. Si bien esta denominación incluye siete especies de crustáceos eufáusidos, son dos de ellas (*Euphausia superba* y *Euphausia crystallorophias*) las que están sometidas a una intensa pesca comercial y deben, por eso, ser controladas.

Décadas de investigaciones en la región antártica han llevado a la conclusión de que la elevada productividad biológica (incorporación de CO_2 ambiental a los vegetales como materia orgánica por el proceso de fotosíntesis y su posterior transferencia a los animales a través de la cadena alimenticia) de su océano se restringe prácticamente a la zona del borde del hielo marino y a unas pocas áreas próximas a la costa. Hay evidencias de que, por efecto del cambio climático, en algunas regiones la superficie del hielo marino está cediendo paso al océano abierto, mucho más pobre en cuanto a productividad. Este proceso trae aparejado un menor desarrollo de la comunidad de organismos fotosintéticos (fitoplancton) con la consecuente disminución del *secuestro* de CO_2 ambiental y su posterior eliminación –parcial, pero casi definitiva– del sistema como componente de los sedimentos del fondo marino. Este proceso natural, llamado *bomba biológica*, conforma uno de los mecanismos más importantes de regulación del equilibrio de CO_2 entre la atmósfera y el mar, y puede verse perjudicado en gran medida y provocar el incremento del efecto invernadero (elevada concentración de CO_2 atmosférico), como resultado de una disminución en la productividad de los océanos que rodean el continente antártico.

LOS PINGÜINOS SON LAS AVES ANTÁRTICAS MÁS NUMEROSAS. EL PINGÜINO EMPERADOR SOBRESALE POR DIVERSOS ASPECTOS: MIDE APROXIMADAMENTE 1,2 M DE ALTURA, ES LA ÚNICA ESPECIE DEL GRUPO QUE SE REPRODUCE EN INVIERNO SOBRE EL HIELO, DONDE LA HEMBRA PONE UN ÚNICO HUEVO, QUE ES INCUBADO CASI EXCLUSIVAMENTE POR EL MACHO.



Pingüinos emperador con sus crías (Dirección Nacional del Antártico)

2.8 LA ANTÁRTIDA ANTE EL CALENTAMIENTO GLOBAL

Jerónimo López Martínez, doctor en Ciencias Geológicas, Universidad Autónoma de Madrid, España



Mar helado y glaciares en la península Antártica (Jerónimo López Martínez)

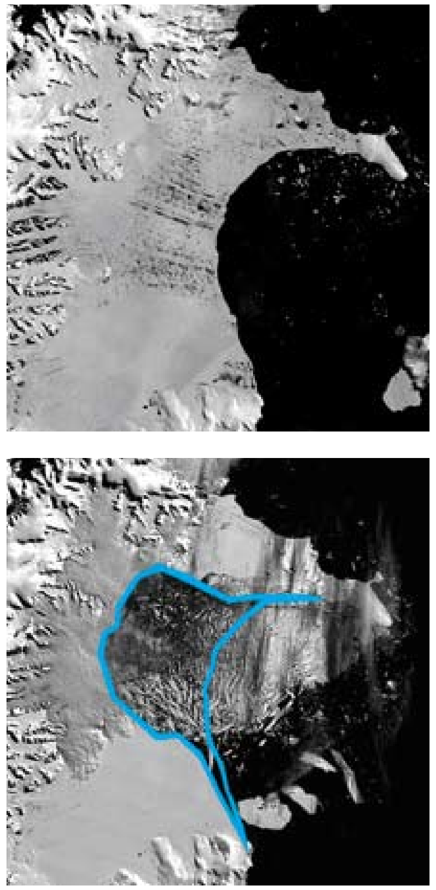
Las regiones polares tienen un papel preponderante en un contexto de calentamiento global como el actual. Al contener hielo, las consecuencias del calentamiento se ven amplificadas, a lo que se une el hecho de que estas regiones transmiten los efectos a zonas alejadas e influyen en el clima global.

Resulta significativo que sean ciertos sectores polares las zonas de la superficie terrestre que más se han calentado en los 50 últimos años. Dos de esas zonas se encuentran en el Ártico, a las que se suma la región de la península Antártica, que es la zona del hemisferio sur que más calentamiento ha experimentado en las 5 últimas décadas.

Sin embargo, no existe un paralelismo entre lo que está ocurriendo en ambas zonas polares como consecuencia del calentamiento global. En el Ártico la fusión del hielo es más generalizada, y es notable la reducción del hielo marino, que en los 30 últimos años ha visto disminuida en casi un 40 % su extensión en el mes de septiembre, cuando alcanza su mínimo en coincidencia con el final del verano en el hemisferio norte. No obstante, en la Antártida la extensión del mar helado se ha mantenido relativamente estable en este mismo periodo, aunque se observan ciertas diferencias de unas zonas a otras.

Tampoco ha sido generalizado ni uniforme el calentamiento atmosférico ocurrido en las 5 últimas décadas. En la región de la península Antártica, el calentamiento ha llegado a ser mayor de 2,5 ºC, es decir, más de cinco veces superior a lo que se ha calentado el conjunto del planeta en ese mismo periodo. Si bien ese calentamiento no ha ocurrido en el mismo grado en toda la Antártida, pues algunos sectores han aumentado mucho menos su temperatura, sí se ha comprobado hace poco que el conjunto de la Antártida se ha calentado, incluida la Antártida oriental, sector que, se creía, era una excepción.

La reducción de la superficie recubierta de hielo en las zonas polares tiene importantes consecuencias locales e implicaciones globales. Mientras que la superficie helada del mar llega a reflejar hasta el 90 % de la radiación solar recibida, si se trata de agua en estado líquido, la reflexión, denominada *albedo*, es aproximadamente un 10 %. En este segundo caso, la absorción de la radiación provoca el calentamiento del agua, con los consiguientes efectos en las corrientes marinas y en los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, al disminuir la congelación estacional del mar, se produce una reducción de la salinidad del agua. Esto sucede debido a que en el proceso de congelación se expulsan sales, lo que aumenta la salinidad del mar. Por esta razón, en los océanos adyacentes a la Antártida, donde el mar se congela extensamente, se generan aguas frías y salinas que, por su mayor densidad, se hunden y alimentan las aguas profundas antárticas, que intervienen de modo importante en la circulación oceánica global.



Retroceso del frente de la plataforma Larsen B tras su rotura en marzo de 2002 (NASA Terra satellite, National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder)

Los cambios en las características químicas de los mares antárticos tienen también serias consecuencias para la diversidad biológica. Por ejemplo, el aumento de la acidez de las aguas, debido a la ganancia de CO_2, afecta al desarrollo de los organismos con partes formadas por carbonato, así como al propio papel de los océanos como sumideros naturales de CO_2.

LAS REGIONES POLARES TIENEN UN PAPEL ESPECIALMENTE RELEVANTE EN UN CONTEXTO DE CALENTAMIENTO GLOBAL COMO EL ACTUALMENTE EXISTENTE. AL CONTENER HIELO, LAS CONSECUENCIAS DEL CALENTAMIENTO SE VEN AMPLIFICADAS, A LO QUE SE UNE QUE ESTAS REGIONES TRANSMITEN LOS EFECTOS A ZONAS ALEJADAS, INFLUYENDO EN EL CLIMA GLOBAL.

LA MAYORÍA DE LOS MODELOS ESTIMAN QUE PODRÍA PRODUCIRSE UN AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR DE ENTRE 30 CM Y 1,5 M A LO LARGO DEL SIGLO XXI, LO CUAL YA SERÍA SUFICIENTE PARA GENERAR GRANDES COMPLICACIONES EN ZONAS COSTERAS DE TODO EL MUNDO.

Las fluctuaciones glaciares y los cambios del nivel del mar

Otro modo en que el calentamiento que se viene produciendo en la península Antártica ocasiona cambios en el medio marino es a través del aporte de agua dulce al mar, debido a la fusión glaciar procedente del continente. Con esos aportes se disminuye la salinidad de agua marina en el ámbito litoral, lo cual influye, como hemos indicado, en los ecosistemas litorales, en la biodiversidad y en la cadena trófica, así como en las corrientes oceánicas y en el nivel del mar.

Los cambios mencionados tendrán consecuencias, no del todo conocidas, en las frágiles poblaciones que han sido capaces de desarrollar estrategias para adaptarse a las especiales condiciones de frío e iluminación que se dan en el medio antártico. Resulta esencial el estudio de la biodiversidad antártica y de la respuesta de los organismos vivos a los cambios ambientales, como el aumento de la radiación ultravioleta o el calentamiento atmosférico.

Conectadas en muchos casos con el calentamiento, están también las roturas de barreras de hielo que se vienen produciendo en los últimos años en la periferia de la península Antártica, entre las que se encuentran las de las barreras Larsen A en 1995, Larsen B en 2002 y Wilkins en 2008.

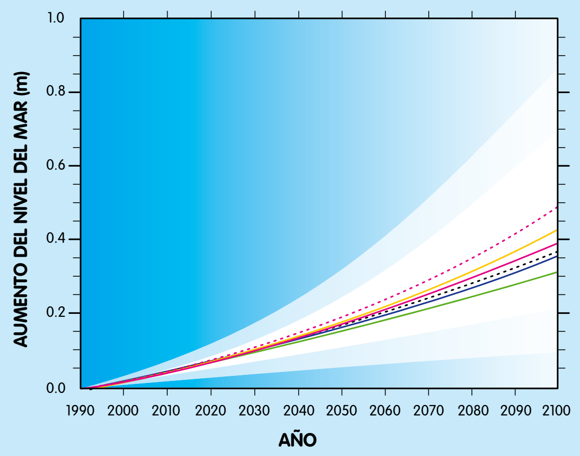
En la zona de la península Antártica, se ha detectado que más del 85 % de los glaciares han experimentado retroceso a lo largo de los 50 últimos años. Además, se han medido aceleraciones en el movimiento de numerosos glaciares, que aumentan la descarga de hielo al mar, con la consiguiente contribución al incremento del nivel marino; hecho especialmente notable en el sector de la Antártida occidental que vierte al mar de Amundsen.

La aceleración de los glaciares está, en algunos casos, ligada a la desintegración de las plataformas de hielo, que ven favorecido su flujo tras haber desaparecido el freno que suponía su existencia.

El papel de la Antártida es trascendental en los modelos globales sobre cambios del nivel del mar. Si se fundiese todo el hielo allí existente, el nivel marino en la Tierra aumentaría más de 65 m. Si se fundiese el casquete de hielo de la Antártida occidental, el ascenso del mar sería del orden de 6 m. Pero como se dijo, esta posibilidad no forma parte de los escenarios previstos por ningún modelo en el corto o mediano plazo. Es decir, dicha fusión completa no puede ocurrir en las escalas de tiempo habituales para los seres humanos. Según los datos actuales, la mayoría de los modelos estiman que podría producirse un aumento del nivel del mar de entre 30 cm y 1,5 m a lo largo del siglo XXI, lo cual ya sería suficiente para generar grandes complicaciones en zonas costeras de todo el mundo. Sin embargo, la complejidad de los factores que intervienen en estos modelos es considerable, y se requiere un mejor conocimiento del comportamiento de los glaciares y de sus aportes al océano.

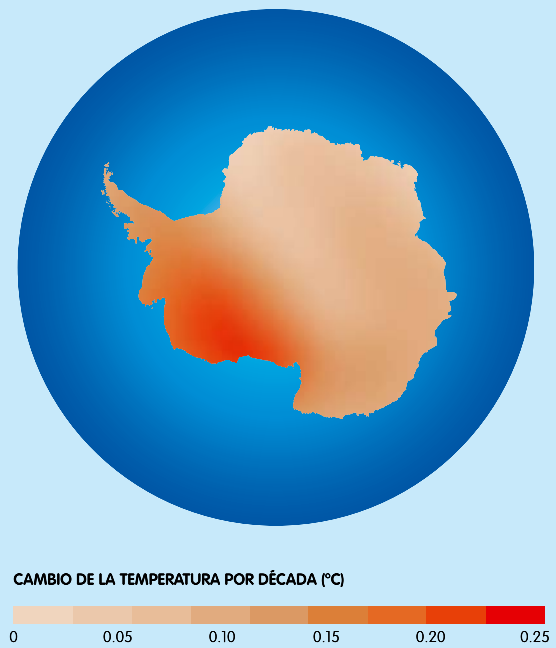
LA REMOTA LOCALIZACIÓN DE LA ANTÁRTIDA Y SU SITUACIÓN MUY DISTANTE DE LAS ZONAS HABITADAS Y, POR LO TANTO, DE LOS FOCOS DE PRODUCCIÓN DE CONTAMINACIÓN ANTRÓPICA LA CONVIERTEN EN UN LUGAR APROPIADO PARA EFECTUAR MEDICIONES ATMOSFÉRICAS.

PROYECCIONES DE LA ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR
(SEGÚN DIVERSOS ESCENARIOS)



(IPCC, 2007)

EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL PERIODO 1957-2006



(NASA)

El océano y la atmósfera de la Antártida en los procesos globales

El océano que rodea el continente antártico tiene una gran importancia en el contexto global al intervenir en la distribución de la energía y en el clima a escala planetaria. En la Antártida se producen las aguas más frías del planeta. Por su mayor densidad, esas aguas frías y salinas se hunden y generan corrientes profundas de circulación oceánica que, a través de los océanos circundantes, se extienden hasta lugares muy lejanos. En estos procesos también es de enorme significación el papel del mar helado que se forma alrededor del continente.

La remota localización de la Antártida y su situación muy distante de las zonas habitadas y, por lo tanto, de los focos de producción de contaminación antrópica la convierten en un lugar apropiado para efectuar mediciones atmosféricas. En este sentido, son relevantes, entre otras, las continuas mediciones de CO_2 que se realizan en varias estaciones antárticas que forman parte de la red mundial para ese tipo de medidas. Asimismo resulta importante mantener el seguimiento de la evolución del agujero de ozono sobre la Antártida.

Hace algunos años se pensaba que la Antártida se encontraba bastante aislada de las condiciones de latitudes más al norte. Sin embargo, hoy somos conscientes de la medida en que el clima de la Antártida se conecta, a través de la atmósfera y del océano, al del resto del planeta y cumple un papel destacado en el sistema climático global. Para comprender el funcionamiento del mecanismo de transporte de energía que supone la circulación oceánica global, se requiere entender los procesos que ocurren en el océano que rodea la región.

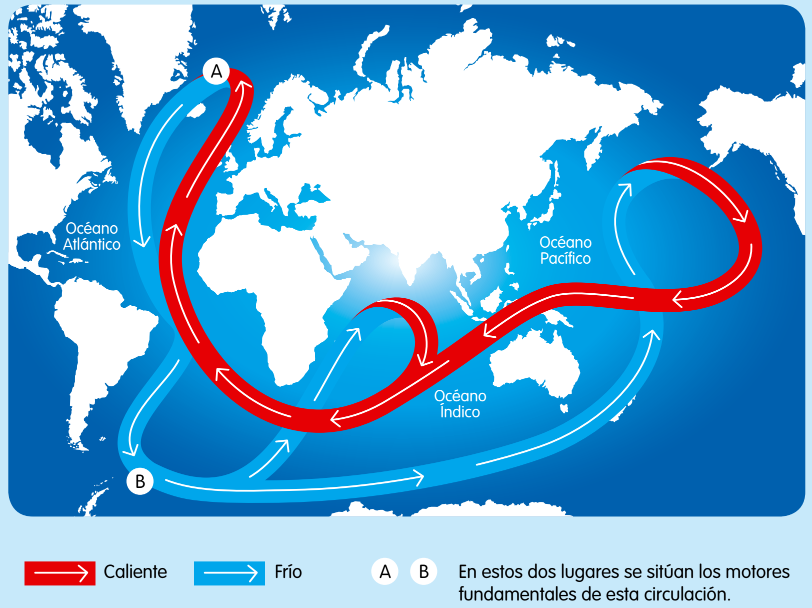
Al estudiar las relaciones entre la Antártida y el resto del mundo, se ha puesto de manifiesto recientemente que los fenómenos de El Niño, que se dan en el Pacífico tropical, conllevan condiciones frías y secas en la península Antártica, y temperaturas más elevadas y mayores niveles de precipitación sobre la región costera de la Antártida occidental en el sector del mar de Amundsen.

Resulta también primordial entender las razones del rápido calentamiento invernal en la zona occidental de la península Antártica, donde las temperaturas se están elevando con más rapidez que en ningún otro lugar del hemisferio sur.

Para afrontar la cuestión del cambio climático, dada la complejidad del sistema terrestre, es necesario disponer de buenos registros, que sean un reflejo fiable de las condiciones actuales y de cómo evolucionan. Igualmente es necesario saber cómo fueron y por qué causas sucedieron los cambios climáticos en el pasado, cuando los seres humanos no interveníamos aún en los ciclos naturales como lo hacemos en los últimos tiempos. Para ello, las redes de observación en la Antártida y los estudios de los registros paleoambientales allí existentes tienen un gran valor.

Aumentar el conocimiento sobre la Antártida y los procesos que allí se producen, haciendo su seguimiento, es esencial para estudiar los procesos y la evolución del clima terrestre.

CIRCULACIÓN TERMOHALINA GLOBAL



EN LA REGIÓN DE LA PENÍNSULA ANTÁRTICA, EL CALENTAMIENTO EN LOS 50 ÚLTIMOS AÑOS HA LLEGADO A SER MAYOR DE 2,5 °C, ES DECIR, MÁS DE CINCO VECES SUPERIOR A LO QUE SE HA CALENTADO EL CONJUNTO DEL PLANETA EN ESE MISMO PERIODO.

EL OCÉANO QUE RODEA EL CONTINENTE ANTÁRTICO TIENE UNA GRAN IMPORTANCIA EN EL CONTEXTO GLOBAL AL INTERVENIR EN LA DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA Y EN EL CLIMA A ESCALA PLANETARIA.

EPÍLOGO



Proyecto Antártida. Carpa Iglú II (Andrea Juan)

LOS DESAFIOS DE LA ANTÁRTIDA

Pedro Cortegoso, licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales, Consejería de Educación de la Embajada de España en Argentina, España



Bandejones de hielo marino en el mar en calma del verano austral en la Antártida (Dirección Nacional del Antártico)

La Antártida tiene un destacado papel en el funcionamiento del planeta Tierra, en particular en lo que se refiere a las condiciones climáticas y ambientales, y para que lo pueda seguir cumpliendo, debe mantenerse en sus actuales condiciones de conservación.

Los desafíos que se presentan para la Antártida son trascendentales, y de cómo los afrontemos dependerá el futuro del continente blanco. Uno de estos desafíos, posiblemente el más significativo, es el calentamiento global, que en la región de la península Antártica tiene un especial impacto, con un considerable incremento de temperatura así como un aumento de la fusión y retroceso del hielo. Los cambios en la Antártida afectan al conjunto del planeta, por lo que a todos nos influye lo que pase en ese remoto lugar; todos somos, en alguna medida, ciudadanos de la Antártida. Las acciones que se tomen a escala mundial para reducir el calentamiento y la contaminación de la Tierra afectarán a la conservación del continente antártico y de sus funciones de regulación y de archivo del sistema climático planetario.

La colaboración internacional

La preservación de la Antártida como lugar reservado a la paz y la ciencia es un reto para la comunidad internacional. La región antártica tiene una dimensión y una importancia que requieren la colaboración y el trabajo conjunto de todos los países para poder mantenerla en su estado actual y para llevar a cabo la actividad investigadora necesaria para seguir ampliando el conocimiento. Al mismo tiempo, la investigación en la Antártida se debe realizar con un enfoque interdisciplinario, solo el estudio que integre los conocimientos de los distintos campos de investigación permitirá abarcar la complejidad de la región y realizar modelos predictivos fiables. Así se contribuirá a conocer mejor el pasado y el presente de la Antártida para, entonces, predecir e imaginar el futuro de nuestro planeta.

Dentro del ámbito de gestión internacional compartida de la Antártida, uno de los aspectos más destacados en los últimos años es el turismo. Por un lado, su crecimiento supone una ventana por la que la sociedad conoce la belleza e importancia de la región. Además, este turismo se convierte en una fuente de desarrollo económico para las regiones cercanas, cuya lejanía y aislamiento han hecho que, en muchas ocasiones, se viera frenado su crecimiento y prosperidad.

Sin embargo, por otro lado, el aumento del número de barcos y personas que llegan al continente antártico representa un riesgo y un impacto, que, en caso de accidentes, se incrementarían de manera notable y, quizá, en forma irreversible. En este aspecto se hacen imprescindibles las acciones de protección ambiental, tomando como punto de partida el Protocolo de Madrid, para, de esta forma, reducir al máximo el impacto de los seres humanos, tanto turistas como científicos, en un continente que debe seguir manteniéndose prístino y como laboratorio natural privilegiado.

La Antártida, paraíso para la investigación

La investigación polar, al igual que otros campos científicos, puede ser apasionante: rastrear entre los hielos la historia de nuestro planeta, conocer la fauna y la flora que viven en condiciones tan extremas, trabajar con investigadores de otros países y de otras especialidades.

En este libro hemos tratado diferentes aspectos de la física, la biología, la química, la geología, etcétera, materias que se imparten en todos los sistemas educativos. Los estudiantes que lean estas páginas saben que todas son materias muy interesantes y que explican el mundo que nos rodea. Quizá se puedan sentir atraídos por la posibilidad de cursar una carrera universitaria de ciencias e, incluso, dedicarse después a la investigación. ¿Por qué no?

La investigación permite avanzar en las fronteras del conocimiento, desarrollar una tarea variada y apasionante todos los días, colaborar con investigadores de todo el mundo, viajar y trabajar en otros países. No es fácil, hay que estudiar durante mucho tiempo y seguir aprendiendo cosas nuevas cada día, pero la sensación de haber descubierto algo que nadie sabía compensa todos los esfuerzos.

La importancia de contar con una nueva generación de expertos polares es uno de los aspectos incluidos en el Año Polar Internacional que se celebró en los años 2007 y 2008, con actividades específicas dirigidas a fomentar el conocimiento de los temas polares en los estudiantes y a crear una red de colaboración. Puede ser una buena herramienta para saber más de la Antártida...



Base Esperanza, Argentina (Dirección Nacional del Antártico)



Pingüinos emperador entrando en el campo de hielo (Marcelo Gurruchaga)

LA REGIÓN ANTÁRTICA TIENE UNA DIMENSIÓN Y UNA IMPORTANCIA QUE REQUIEREN LA COLABORACIÓN Y EL TRABAJO CONJUNTO DE TODOS LOS PAÍSES PARA PODER MANTENERLA EN SU ESTADO ACTUAL Y PARA LLEVAR A CABO LA ACTIVIDAD INVESTIGADORA NECESARIA PARA SEGUIR AMPLIANDO EL CONOCIMIENTO.

LA INVESTIGACIÓN POLAR PUEDE SER APASIONANTE: RASTREAR ENTRE LOS HIELOS LA HISTORIA DE NUESTRO PLANETA, CONOCER LA FAUNA Y LA FLORA QUE VIVEN EN CONDICIONES TAN EXTREMAS, TRABAJAR CON INVESTIGADORES DE OTROS PAÍSES Y DE OTRAS ESPECIALIDADES.



(Dirección Nacional del Antártico)

BIBLIOGRAFÍA

A. Bibliografía utilizada para la elaboración de esta publicación

Allison, I., y otros
The scope of science for the Internacional Polar Year 2007-2008, Ginebra: World Meteorological Organization, doc. téc. n.º 1364, 2007.
El estado de la investigación polar, Ginebra: World Meteorological Organization, 2009.

Barret, P. J.
«Climate Change: An Antarctic Perspective», *New Zealand Science Review*, 58, núm. 1 (2001).

Batista, J.
Antártida: ayer, hoy, mañana, Madrid: Alianza Editorial, 2002.

Bell, R. E.
«The Unquiet Ice», *Scientific American*, 298, núm. 2 (2008), pp. 60-67.

Braun Menéndez, A.
Pequeña historia antártica, Buenos Aires: Editorial Francisco de Aguirre, 1974.

Capdevila, R., y S. Comerci
Historia antártica argentina, Argentina: Dirección Nacional del Antártico, 1986.

Chiozza, E., y R. Figueira
Atlas total de la República Argentina, Buenos Aires: Centro Editor de América Latina, 1981.

Dirección Nacional del Antártico
Cursos de capacitación ambiental [en línea]: *Guía para la protección del medio ambiente antártico*, Argentina, Programa de gestión ambiental, 2004, <www.dna.gov.ar/DIVULGAC/CCA04.HTM>. [Consulta: 13/05/2010.]

Fricker, H. A., y otros
«An Active Subglacial Water System in West Antarctica Mapped from Space», *Science,* 315, núm. 5818 (2007), pp. 1544-1548.

Jouzel, J., y otros
«Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years», *Science*, 317, núm. 5839 (2007), pp. 793-796.

López Martínez, J.
«La frontera sur del planeta: España en los mares australes», en *Foro de Debate sobre el mar y sus problemas,* Lisboa: Exposición Universal Lisboa 98 y Fundación Calouste Gubelkian, 1998, pp. 347-366.

Loulergue, L., y otros
«Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH4 over the past 800,000 years», *Nature*, núm. 453 (2008), pp. 383-386.

Lüthi, D., y otros
«High resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present», *Nature*, núm. 453 (2008), pp. 379-382.

Manzoni, M.
La Nature dell´Antártide, Milán: Springer-Verlag, 2001.

Natural Environment Research Council
British Antarctic Survey [en línea]: *Antarctic Schools Pack*, Reino Unido, NERC-BAS, 1999, <http://www.antarctica.ac.uk/about_antarctica/teacher_resources/resources/schoolspack/download.php>. [Consulta: 23/05/2010.]

Petit, J. R., y otros
«Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica», *Nature*, núm. 399 (1999), pp. 429-436.

Polanski, J.
Geografía física general, Buenos Aires: Eudeba, 1975.

Sánchez, R.
Introducción a un continente remoto, Buenos Aires: Editorial Albatros, 2008.

B. Bibliografía recomendada

Alexander, C.
Atrapados en el hielo, Barcelona: Planeta Booket, 2003.

Blashford-Snell, J., y **M. Cable**
Operación Drake, Barcelona: Juventud, 1983.

Calvo Roy, A.
La Antártida, catedral de hielo. Madrid: McGraw Hill, 2000.

Capdevilla, R.
Antártida: más allá del fin del mundo, Buenos Aires: Zaguier & Urruti Publications, 2001.

Cherry-Garrard, A.
El peor viaje del mundo, Barcelona: Ediciones B, 2007.
Con Scott al polo: la expedición del «Terra Nova», 1910-1913, Barcelona: Geoplaneta, 2007.

Cordón Scharfhausen, C.
Diario de un viaje a la Antártida (*Hespérides, 1999-2000*), Madrid: Ministerio de Defensa, 2000.

Genest, E. A.
Antártida sudamericana: aportes para su comprensión, Buenos Aires: Dirección Nacional del Antártico, 2001.

Izaguirre, I., y **G. Mataloni**
Antártida, descubriendo el continente blanco, Buenos Aires: Del Nuevo Extremo, 2000.

Jones, M.
La última gran aventura: el sacrificio del capitán Scott en la Antártica, Madrid: Editorial Oyeron, 2005.

May, J.
El libro Greenpeace de la Antártida, Madrid: Raíces, Madrid, 1989.

Moneta, J. M.
Cuatro años en las Orcadas del Sur, Buenos Aires: Editorial Peuser, 1958.

Nogueira, C.
Viaje a la Antártida: vida y secretos de un continente amenazado, Madrid: Alianza Editorial, 1997.

Quevedo Paiva, A. E.
Antártida: pasado, presente... ¿futuro?, Buenos Aires: Círculo Militar, 1987.

Rigoz, S., y **B. de Nóbile**
Hernán Pujato: el conquistador del desierto blanco, Buenos Aires: María Ghirlanda, 2002 (Biblioteca Soldados).
Shackleton: la odisea de la Antártica, Barcelona: Geoplaneta, 2007.

Sobral, J. M.
Dos años entre los hielos, Buenos Aires: Eudeba, 2004.

Weddell, J.
Un viaje hacia el polo Sur, Buenos Aires: Eudeba, 2006.

Wheeler, S.
Cherry: Apsley Cherry-Garrard: vida de un explorador, Barcelona: RBA-National Geographic, 2004.

White, A.
Operación Antártica, Barcelona: Destino, 2007.

Willis, C.
Hielo: historias de supervivencia de la exploración polar, Madrid: Ediciones Desnivel, 2002.

ANEXO A.1

PAÍSES INTEGRANTES DEL TRATADO ANTÁRTICO, JUNIO DE 2010

Dentro del tratado se reconocen dos categorías de miembros: los **consultivos**, que son los que desarrollan actividades científicas importantes en la Antártida y participan con voz y voto en las reuniones consultivas, y los **no consultivos**, que asisten a las reuniones, pero no participan en la toma de decisiones.

MIEMBROS CONSULTIVOS

ESTADO	Entrada en vigor [1]	ESTADO	Entrada en vigor [1]
Alemania	19/11/1974	Francia*	23/06/1961
Argentina*	23/06/1961	India	19/08/1983
Australia*	23/06/1961	Italia	18/03/1981
Bélgica*	23/06/1961	Japón*	23/06/1961
Brasil	16/05/1975	Noruega*	23/06/1961
Bulgaria	11/09/1978	Nueva Zelanda*	23/06/1961
Chile*	23/06/1961	Países Bajos	30/03/1967
China	08/06/1983	Perú	10/04/1981
Corea (RDC)	28/11/1986	Polonia	23/06/1961
Ecuador	15/09/1987	Reino Unido*	23/06/1961
España	31/03/1982	Sudáfrica*	23/06/1961
Estados Unidos*	23/06/1961	Suecia	24/04/1984
Fed. de Rusia*	23/06/1961	Ucrania	28/10/1992
Finlandia	15/05/1984	Uruguay	11/01/1980

MIEMBROS NO CONSULTIVOS

ESTADO	Entrada en vigor [1]	ESTADO	Entrada en vigor [1]
Austria	25/08/1987	Hungría	27/01/1984
Belarús	27/12/2006	Mónaco	30/05/2008
Canadá	04/05/1988	Papúa N. Guinea	16/09/1975
Colombia	31/01/1989	Portugal	29/01/2010
Corea (RDPC)	21/01/1987	República Checa	01/09/1993
Cuba	16/08/1984	Rep. de Eslovaquia	01/01/1993
Dinamarca	20/05/1965	Rumania	15/09/1971
Estonia	17/05/2001	Suiza	15/11/1990
Grecia	08/01/1987	Turquía	24/01/1996
Guatemala	31/07/1991	Venezuela	24/03/1999

(Secretaría del Tratado Antártico)

El asterisco (*) señala las partes que fueron signatarias iniciales.
[1] Fecha en la que el tratado entró en vigor para la parte. Para los países que fueron signatarios originales, se refiere a la fecha en la que el tratado entró en vigor, el 23 de junio de 1961. Para los países que se unieron posteriormente, es la fecha en la que depositaron el instrumento de adhesión.

ANEXO A.2

PAÍSES INTEGRANTES DEL COMITÉ CIENTÍFICO PARA LA INVESTIGACIÓN EN LA ANTÁRTIDA (SCAR), JUNIO DE 2010

MIEMBROS PLENOS

ESTADO	Fecha de ingreso
Alemania [2]	22/05/1978
Argentina	03/02/1958
Australia	03/02/1958
Bélgica	03/02/1958
Brasil	01/10/1984
Bulgaria	17/07/2006
Canada	27/07/1998
Chile	03/02/1958
China	23/06/1986
Corea (RDC)	23/07/1990
Ecuador	15/06/1992

ESTADO	Fecha de ingreso
España	23/07/1990
Estados Unidos	03/02/1958
Fed. de Rusia [3]	03/02/1958
Finlandia	23/07/1990
Francia	03/02/1958
India	01/10/1984
Italia	12/09/1988
Japón	03/02/1958
Malasia	14/07/2008
Noruega	03/02/1958
Nueva Zelanda	03/02/1958

MIEMBROS PLENOS

ESTADO	Fecha de ingreso
Países Bajos	23/07/1990
Perú	22/07/2004
Polonia	22/05/1978
Reino Unido	03/02/1958
Sudáfrica	03/02/1958

ESTADO	Fecha de ingreso
Suecia	12/09/1988
Suiza	04/10/2004
Ucrania	17/07/2006
Uruguay	12/09/1988

MIEMBROS ASOCIADOS

ESTADO	Fecha de ingreso
Dinamarca	17/07/2006
Pakistán	15/06/1992

ESTADO	Fecha de ingreso
Portugal	17/07/2006
Rumania	14/07/2008

(SCAR)

[2] Antes República Democrática de Alemania y República Federal de Alemania.
[3] Representación asumida de la URSS.



(Unidad de Tecnología Marina - Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

ANTÁRTIDA EDUCA

La Antártida es el continente más frío, más seco, más ventoso y con mayor altura media del planeta. Fue el último continente alcanzado por los seres humanos y carece de población nativa. Además, es uno de los lugares más inhóspitos e inaccesibles del mundo.

¿Por qué, entonces, un libro sobre la Antártida?

Porque tiene un papel clave en el funcionamiento del clima del planeta Tierra. Porque es el único lugar que se conserva sin apenas influencia de la actividad humana, y constituye, así, un laboratorio natural privilegiado. Porque en su hielo se guarda información sobre el pasado del clima de la Tierra que nos ayudará a comprender el actual cambio climático. Porque es el único lugar del mundo donde nunca se ha producido un conflicto bélico, y se ha decidido internacionalmente dedicarlo a la paz, la ciencia y la cooperación.

El proyecto Antartidaeduca cree que son razones más que suficientes para que este libro llegue a las escuelas y a la sociedad de los países de habla hispana.

Todos podemos conocer la importancia de la Antártida y contribuir a conservarla.

antártidaeduca

www.antartidaeduca.com